

29.11.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 23 DEC 2004

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2004年 3月24日

出 願 番 号
Application Number: 特願2004-086968
[ST. 10/C]: [JP2004-086968]

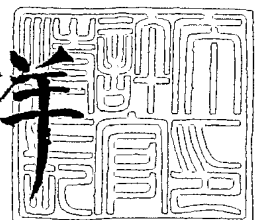
出 願 人
Applicant(s): 株式会社ダイヘン

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月26日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 F09212
【提出日】 平成16年 3月24日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H03F 3/20
G01R 27/00

【発明者】
【住所又は居所】 大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号 株式会社ダイヘン内
【氏名】 小谷 弘幸

【発明者】
【住所又は居所】 大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号 株式会社ダイヘン内
【氏名】 武居 宏卓

【発明者】
【住所又は居所】 大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号 株式会社ダイヘン内
【氏名】 伊吹 吉史

【発明者】
【住所又は居所】 大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号 株式会社ダイヘン内
【氏名】 大市 啓晶

【特許出願人】
【識別番号】 000000262
【氏名又は名称】 株式会社ダイヘン

【代理人】
【識別番号】 100086380
【弁理士】
【氏名又は名称】 吉田 稔

【選任した代理人】
【識別番号】 100103078
【弁理士】
【氏名又は名称】 田中 達也

【選任した代理人】
【識別番号】 100115369
【弁理士】
【氏名又は名称】 仙波 司
【連絡先】 0 6 - 6 7 6 4 - 6 6 6 4

【選任した代理人】
【識別番号】 100117167
【弁理士】
【氏名又は名称】 塩谷 隆嗣

【選任した代理人】
【識別番号】 100117178
【弁理士】
【氏名又は名称】 古澤 寛

【選任した代理人】
【識別番号】 100120514
【弁理士】
【氏名又は名称】 筒井 雅人

【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2003-396740
【出願日】 平成15年11月27日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 024198

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 特許請求の範囲 1

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0205953

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

高周波電源からインピーダンス整合器を介して負荷に高周波電力を供給する高周波電力供給システムであって、

上記高周波電源から上記負荷側に進行する進行波に関する情報を検出する第 1 の検出手段と、

上記負荷から上記高周波電源側に進行する反射波に関する情報を検出する第 2 の検出手段と、

上記第 1 の検出手段により検出された進行波に関する情報と上記第 2 の検出手段により検出された反射波に関する情報とに基づいて、当該第 1、第 2 の検出手段の検出点における反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量を演算する微分演算手段と、

上記微分演算手段により演算された反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量に基づいて、上記第 1、第 2 の検出手段の検出点から負荷側における異常の発生を判定する異常判定手段と、

を備えたことを特徴とする高周波電力供給システム。

【請求項 2】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第 1 基準値を超えたとき、異常発生と判定することを特徴とする、請求項 1 に記載の高周波電力供給システム。

【請求項 3】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第 1 基準値を超える回数を計数する計数手段を備え、この計数手段で計数された回数が所定の基準回数を超えたとき、異常発生と判定することを特徴とする、請求項 1 に記載の高周波電力供給システム。

【請求項 4】

上記第 1 の検出手段により検出された進行波に関する情報と上記第 2 の検出手段により検出された反射波に関する情報とに基づいて、当該第 1、第 2 の検出手段の検出点における反射係数の大きさを演算する演算手段を更に備え、

上記異常判定手段は、上記微分演算手段により演算された反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量と上記演算手段により演算された反射係数の大きさに基づいて、上記第 1、第 2 の検出手段の検出点から負荷側における異常の発生を判定することを特徴とする、請求項 1 に記載の高周波電力供給システム。

【請求項 5】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさが予め設定された所定の第 2 基準値を超え、かつ、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第 1 基準値を超えたとき、異常発生と判定することを特徴とする、請求項 4 に記載の高周波電力供給システム。

【請求項 6】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第 1 基準値を超える回数を計数する第 1 の計数手段と、上記反射係数の大きさが予め設定された所定の第 2 基準値を超える回数を計数する第 2 の計数手段と、を備え、上記第 1 の計数手段で計数された回数が予め設定された第 1 基準回数を超え、かつ、上記第 2 の計数手段で計数された回数が予め設定された第 2 基準回数を超えたとき、異常発生と判定することを特徴とする、請求項 4 に記載の高周波電力供給システム。

【請求項 7】

上記第 1、第 2 の検出手段の検出点は、上記高周波電源の内部、上記高周波電源の高周波電力の出力端部から上記インピーダンス整合器の高周波電力の入力端部の間の伝送線路上、またはインピーダンス整合器の内部に設定されていることを特徴とする、請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の高周波電力供給システム。

【請求項 8】

高周波電源からインピーダンス整合器を介して負荷に高周波電力を供給する高周波電力供給システムであって、

上記高周波電源から上記負荷側に進行する進行波に関する情報を検出する第1の検出手段と、

上記負荷から上記高周波電源側に進行する反射波に関する情報を検出する第2の検出手段と、

上記第1の検出手段により検出された進行波に関する情報と上記第2の検出手段により検出された反射波に関する情報とに基づいて、当該第1、第2の検出手段の検出点における反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量を演算する第1の微分演算手段と、

上記負荷に対する入力電圧を検出する第3の検出手段と、

上記負荷に対する入力電流を検出する第4の検出手段と、

上記第3の検出手段により検出された入力電圧と上記第4の検出手段により検出された入力電流とに基づいて、当該第3、第4の検出手段の検出点から負荷側を見たインピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量を演算する第2の微分演算手段と、

上記第1の微分演算手段により演算された反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量と、上記第2の微分演算手段により演算されたインピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量とに基づいて、上記第3、第4の検出手段の検出点から負荷側における異常の発生を判定する異常判定手段と、

を備えたことを特徴とする高周波電力供給システム。

【請求項9】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超え、かつ上記インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第3基準値を超えたとき、異常発生と判定することを特徴とする、請求項8に記載の高周波電力供給システム。

【請求項10】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超える回数を計数する第1の計数手段と、

上記インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第3基準値を超える回数を計数する第3の計数手段とを備え、

上記第1の計数手段で計数された回数が所定の第1基準回数を超え、かつ上記第3の計数手段で計数された回数が所定の第3基準回数を超えたとき、異常発生と判定することを特徴とする、請求項8に記載の高周波電力供給システム。

【請求項11】

上記第1の検出手段により検出された進行波に関する情報と上記第2の検出手段により検出された反射波に関する情報とに基づいて、当該第1、第2の検出手段の検出点における反射係数の大きさを演算する演算手段を更に備え、

上記異常判定手段は、上記第1の微分演算手段により演算された反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量、上記演算手段により演算された反射係数の大きさ、及び上記第2の微分演算手段により演算されたインピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量に基づいて、上記第3、第4の検出手段の検出点から負荷側における異常の発生を判定することを特徴とする、請求項8に記載の高周波電力供給システム。

【請求項12】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超え、上記反射係数の大きさが予め設定された所定の第2基準値を超え、更に上記インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第3基準値を超えたとき、異常発生と判定することを特徴とする、請求項11に記載の高周波電力供給システム。

【請求項13】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超える回数を計数する第1の計数手段と、

上記反射係数の大きさが予め設定された所定の第2基準値を超える回数を計数する第2の計数手段と、

上記インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第3基準値を超える回数を計数する第3の計数手段と、を備え、

上記第1の計数手段で計数された回数が予め設定された第1基準回数を超え、上記第2の計数手段で計数された回数が予め設定された第2基準回数を超え、更に上記第3の計数手段で計数された回数が予め設定された第3基準回数を超えたとき、異常発生と判定することを特徴とする、請求項11に記載の高周波電力供給システム。

【請求項14】

上記第1、第2の検出手段の検出点は、上記高周波電源の内部、上記高周波電源の高周波電力の出力端部から上記インピーダンス整合器の高周波電力の入力端部の間の伝送線路上、又はインピーダンス整合器の内部に設定されており、上記第3、第4の検出手段の検出点は、上記インピーダンス整合器の内部から負荷との間の線路上に設定されていることを特徴とする、請求項8ないし13のいずれかに記載の高周波電力供給システム。

【請求項15】

上記異常判定手段により異常発生と判定されたとき、上記高周波電源から出力される電力量を減少方向に変更する出力電力変更手段を更に備えたことを特徴とする、請求項1ないし14のいずれかに記載の高周波電力供給システム。

【請求項16】

上記出力電力変更手段は、上記異常判定手段により異常発生と判定されたとき、上記高周波電源から出力される電力量をゼロにすることを特徴とする、請求項15に記載の高周波電力供給システム。

【請求項17】

上記出力電力変更手段により上記高周波電源の出力電力量が変更されると、第1の所定時間の経過後に上記高周波電源の出力電力量を元の出力電力量に復帰させる出力電力復帰手段を更に備えたことを特徴とする、請求項15または16に記載の高周波電力供給システム。

【請求項18】

上記出力電力変更手段により上記高周波電源の出力電力量が変更されると、上記インピーダンス整合器の整合動作を停止させ、そのときの状態を保持する整合動作停止手段を更に備えたことを特徴とする、請求項17に記載の高周波電力供給システム。

【請求項19】

上記異常判定手段により異常発生と判定され、上記出力電力変更手段により上記高周波電源の出力電力量が変更されてから上記出力電力復帰手段により元の出力電力量に復帰後、第2の所定時間経過まで上記異常判定手段の判定動作を禁止する第1判定禁止手段を更に備えたことを特徴とする、請求項17に記載の高周波電力供給システム。

【請求項20】

ユーザによる操作によって上記高周波電源の電力供給動作が開始された後、またはユーザによる操作によって電力供給動作中に出力電力設定値が変更された後、第2の所定時間経過まで上記異常判定手段を禁止する第2判定禁止手段を更に備えたことを特徴とする、請求項1ないし19のいずれかに記載の高周波電力供給システム。

【請求項21】

上記第2の所定時間は、上記インピーダンス整合器により上記高周波電源と上記負荷とがインピーダンス整合されるまでの時間よりも長いことを特徴とする、請求項19または20に記載の高周波電力供給システム。

【請求項22】

上記第1の検出手段により検出される情報は進行波の電力値であり、上記第2の検出手段により検出される情報は反射波の電力値であることを特徴とする、請求項1ないし21のいずれかに記載の高周波電力供給システム。

【請求項23】

上記第 1 の検出手段により検出される情報は進行波の電圧値であり、上記第 2 の検出手段により検出される情報は反射波の電圧値であることを特徴とする、請求項 1 ないし 2 2 のいずれかに記載の高周波電力供給システム。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 高周波電力供給システム

【技術分野】

【0001】

本願発明は、高周波電源からインピーダンス整合器を介して、たとえば半導体ウェハプロセスにおいてプラズマエッチングを行うプラズマ処理装置などの負荷に高周波電力を供給する高周波電力供給システムに関する。

【背景技術】

【0002】

図17は、従来の高周波電力供給システムの基本構成例を示す図である。このシステムは、高周波電力を出力するための高周波電源41と、この高周波電源41に同軸ケーブルからなる伝送線路42を介して接続され、高周波電源41の入力インピーダンスと負荷インピーダンスとを整合するためのインピーダンス整合器43と、このインピーダンス整合器43に電磁波が漏れないように遮蔽された銅板などからなる負荷接続部44を介して接続された、たとえばプラズマ処理装置からなる負荷Lとで構成されている。

【0003】

高周波電源41は、負荷Lに対して高周波電力を供給するための装置であり、図示しない電力増幅回路や発振回路などを備え、所定の電力に設定された高周波電力を伝送線路42を通じてインピーダンス整合器43に出力する。

【0004】

インピーダンス整合器43は、その入力端から高周波電源41側を見た入力インピーダンスと、その入力端から負荷L側を見た負荷インピーダンスとを整合させるためのものであり、高周波電源41の出力を効率よく負荷Lに供給するのに用いられる。負荷Lは、エッチングやCVDなどの方法を用いて半導体ウェハや液晶基板などの被加工物を加工するための装置である。

【0005】

上記高周波電力供給システムにおいては、高周波電源41から負荷Lに高周波電力が供給されている間、負荷Lが変動し、高周波電源41と負荷Lとの間にインピーダンスの不整合が発生するため、負荷Lの変動に応じてインピーダンス整合器43内の可変インピーダンス素子（図略）のインピーダンス値を自動的に変化させて高周波電源41と負荷Lとの間のインピーダンスを整合させるようになっている。

【特許文献1】 特開2000-299198号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、上記高周波電力供給システムにおいて、例えば負荷Lであるプラズマ処理装置でガス圧の変化や放電温度の上昇によりアーク放電が生じたり、絶縁破壊が生じるといような異常状態が発生すると、負荷Lのインピーダンスが急変し、インピーダンス整合器43の整合動作が十分に追従できなかったり、場合によってはインピーダンス整合が取れない状態が生じる。このような場合は、インピーダンス不整合により高周波電源41に戻ってくる高周波電力の反射波が非常に大きくなり、高周波電源41を損傷する虞がある。また、負荷Lの損傷箇所にも高周波電力が供給され続けるため、その損傷箇所の被害を増大する虞がある。

【0007】

負荷Lに限らず、伝送線路42やインピーダンス整合器43等の高周波電源41と負荷Lとの間の線路上で絶縁不良や絶縁破壊あるいはコネクタの接触不良等の異常が発生した場合もその部分でのインピーダンス不整合が発生し、高周波電源41への反射波電力が増大し、当該高周波電源41の損傷若しくは線路上の異常発生箇所の損傷拡大を招くことになる。

【0008】

このような異常が発生した場合は、直ちに高周波電力供給を停止するなどの安全対策を講じることが望ましいが、従来の高周波電力供給システムは、上述の異常を検出して安全対策を講じる構成となっていなかった。

【0009】

その一方、高周波技術においては、負荷への電力供給効率を示すパラメータとして反射係数 Γ やリターンロス等が周知であり、これらのパラメータを用いれば、高周波電源41を損傷する虞のある反射波電力を知ることができるため、例えば特開2000-299198号公報に示されるように反射係数 Γ を用いて負荷側の状態を監視し、例えば反射係数 Γ が所定の基準値を超えるか否かにより異常を検出して安全対策を講じることが考えられる。

【0010】

しかし、この方法では、反射係数 Γ の大きさが基準値を超えなければ異常とされないため、反射係数 Γ の変化状態によっては、負荷側に異常が発生しているにも拘わらず、異常と判定されず、安全対策のレスポンスが十分とは言えない。たとえば図18および図19は、時間の経過にともなう反射係数 Γ の変化を表した図であるが、図18に示すように、基準値を超えない範囲で瞬間的に反射係数 Γ が異常に増大する場合や、図19に示すように、基準値を超えない範囲で反射係数 Γ が増大するときに断続的に続く場合などでは、その反射係数 Γ の変化のときに負荷側に異常が発生してもその異常が検出されず、異常が拡大して反射係数 Γ が基準値を超えたとき、その異常が検出されることになるため、安全対策用の検出方法としては十分とは言えない。

【0011】

本願発明は、上述した事情のもとで考え出されたものであって、高周波電源の出力端から負荷側の回路で発生する異常を迅速に検出し、所定の安全措置を講じることのできる高周波電力供給システムを提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記の課題を解決するため、本願発明では、次の技術的手段を講じている。

【0013】

本願発明の第1の側面によって提供される高周波電力供給システムは、高周波電源からインピーダンス整合器を介して負荷に高周波電力を供給する高周波電力供給システムであって、上記高周波電源から上記負荷側に進行する進行波に関する情報を検出する第1の検出手段と、上記負荷から上記高周波電源側に進行する反射波に関する情報を検出する第2の検出手段と、上記第1の検出手段により検出された進行波に関する情報と上記第2の検出手段により検出された反射波に関する情報とに基づいて、当該第1、第2の検出手段の検出点における反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量を演算する微分演算手段と、上記微分演算手段により演算された反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量に基づいて、上記第1、第2の検出手段の検出点から負荷側における異常の発生を判定する異常判定手段と、を備えたことを特徴としている（請求項1）。

【0014】

なお、上記第1、第2の検出手段の検出点は、上記高周波電源の内部、上記高周波電源の高周波電力の出力端部から上記インピーダンス整合器の高周波電力の入力端部の間の伝送線路上、またはインピーダンス整合器の内部に設定するとよい（請求項7）。

【0015】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超えたとき、異常発生と判定する（請求項2）。

【0016】

また、上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超える回数を計数する計数手段を備え、この計数手段で計数された回数が所定の基準回数を超えたとき、異常発生と判定するとよい（請求項3）。

【0017】

上記構成によれば、高周波電源からインピーダンス整合器を介して負荷に高周波電力が供給されているとき、上記高周波電源の内部、高周波電源の高周波電力の出力端部から上記インピーダンス整合器の高周波電力の入力端部の間の伝送線路上、またはインピーダンス整合器の内部の任意の検出点において、例えば電力値や電圧値等の高周波電力の進行波に関する情報（以下、進行波情報という。）と反射波に関する情報（以下、反射波情報という。）が検出され、これらの進行波情報と反射波情報とに基づいて、反射係数 Γ の大きさの単位時間当たりの変化量（以下、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ という。）が算出される。

【0018】

そして、この反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ に基づいて、進行波情報及び反射波情報の検出点から負荷側の回路における異常の発生が判定される。例えば反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超えたとき、進行波情報及び反射波情報の検出点から負荷側の回路における異常の発生が判定される。あるいはまた、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数が所定の基準回数を超えたとき、進行波情報及び反射波情報の検出点から負荷側の回路における異常発生と判定される。

【0019】

このように、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ に基づいて、進行波情報及び反射波情報の検出点から負荷側の回路における異常の発生が判定されるので、図18および図19に示したような、反射係数が瞬間的に増大したり、反射係数が増大する状態が断続的に継続したりして異常が発生した場合にも可及的速やかに異常と判定することができる。

【0020】

また、上記高周波電力供給システムにおいて、上記第1の検出手段により検出された進行波に関する情報と上記第2の検出手段により検出された反射波に関する情報とに基づいて、当該第1、第2の検出手段の検出点における反射係数の大きさを演算する演算手段を更に備え、上記異常判定手段は、上記微分演算手段により演算された反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量と上記演算手段により演算された反射係数の大きさとに基づいて、上記第1、第2の検出手段の検出点から負荷側における異常の発生を判定するようにしてもよい（請求項4）。

【0021】

この場合、上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさが予め設定された所定の第2基準値を超え、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超えたとき、異常発生と判定するようにすればよい（請求項5）。

【0022】

また、上記高周波電力供給システムにおいて、上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超える回数を計数する第1の計数手段と、上記反射係数の大きさが予め設定された所定の第2基準値を超える回数を計数する第2の計数手段と、を備え、上記第1の計数手段で計数された回数が予め設定された第1基準回数を超え、かつ、上記第2の計数手段で計数された回数が予め設定された第2基準回数を超えたとき、異常発生と判定するようにしてもよい（請求項6）。

【0023】

上記構成によれば、高周波電源からインピーダンス整合器を介して負荷に高周波電力が供給されているとき、進行波情報と反射波情報とが検出され、これらの進行波情報と反射波情報とに基づいて、反射係数 Γ の大きさとこの反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ とが算出される。そして、この反射係数 Γ の大きさと反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ とに基づいて、進行波情報及び反射波情報の検出点から負荷側の回路における異常の発生が判定される。

【0024】

例えば反射係数 Γ の大きさが所定の第2基準値を超え、かつ、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超えたとき、上記高周波電源の内部、高周波電源の高周波電力の出力端部からインピーダンス整合器の高周波電力の入力端部の間の伝送線路上、またはインピーダンス整合器の内部に設定された検出点から負荷側の回路における異常の発生が

判定される。あるいはまた、反射係数 Γ の大きさが所定の第2基準値を超える回数が所定の第2基準回数を超え、かつ、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数が所定の第1基準回数を超えたとき、上記伝送線路上に設定された検出点から負荷側の回路における異常の発生が判定される。

【0025】

このように、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ に加え反射係数 Γ の大きさを加味して、上記伝送線路上の任意の検出点から負荷側の回路における異常の発生が判定されるので、上述した異常判定の精度が向上する。

【0026】

本願発明の第2の側面によって提供される高周波電力供給システムは、高周波電源からインピーダンス整合器を介して負荷に高周波電力を供給する高周波電力供給システムであって、上記高周波電源から上記負荷側に進行する進行波に関する情報を検出する第1の検出手段と、上記負荷から上記高周波電源側に進行する反射波に関する情報を検出する第2の検出手段と、上記第1の検出手段により検出された進行波に関する情報と上記第2の検出手段により検出された反射波に関する情報とに基づいて、当該第1、第2の検出手段の検出点における反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量を演算する第1の微分演算手段と、上記負荷に対する入力電圧を検出する第3の検出手段と、上記負荷に対する入力電流を検出する第4の検出手段と、上記第3の検出手段により検出された出力電圧と上記第4の検出手段により検出された出力電流とに基づいて、当該第3、第4の検出手段の検出点から負荷側を見たインピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量を演算する第2の微分演算手段と、上記第1の微分演算手段により演算された反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量と、上記第2の微分演算手段により演算されたインピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量とに基づいて、上記第3、第4の検出手段の検出点から負荷側における異常の発生を判定する異常判定手段と、を備えたことを特徴としている（請求項8）。

【0027】

なお、上記第1、第2の検出手段の検出点は、上記高周波電源の内部、上記高周波電源の高周波電力の出力端部から上記インピーダンス整合器の高周波電力の入力端部の間の伝送線路上、又はインピーダンス整合器の内部に設定され、上記第3、第4の検出手段の検出点は、上記インピーダンス整合器の内部から負荷との間の線路上に設定されているとよい（請求項14）。

【0028】

上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超え、かつ上記インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第3基準値を超えたとき、異常発生と判定する（請求項9）。

【0029】

また、上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超える回数を計数する第1の計数手段と、上記インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第3基準値を超える回数を計数する第3の計数手段とを備え、上記第1の計数手段で計数された回数が所定の第1基準回数を超え、かつ上記第3の計数手段で計数された回数が所定の第3基準回数を超えたとき、異常発生と判定するとよい（請求項10）。

【0030】

上記構成によれば、高周波電源からインピーダンス整合器を介して負荷に高周波電力が供給されているとき、上記高周波電源の内部、高周波電源の高周波電力の出力端部から上記インピーダンス整合器の高周波電力の入力端部の間の伝送線路上、又はインピーダンス整合器の内部の任意の検出点において、例えば電力値や電圧値等の高周波電力の進行波に関する情報（以下、進行波情報という。）と反射波に関する情報（以下、反射波情報という。）が検出され、これらの進行波情報と反射波情報とに基づいて、反射係数 Γ の大きさの単位時間当たりの変化量（以下、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ という。）が算出され

る。

【0031】

また、上記インピーダンス整合器の内部から負荷との間の線路上において、上記負荷に対する入力電圧と入力電流とが検出され、これらの入力電圧と入力電流に基づいて、インピーダンス Z の大きさの単位時間当たりの変化量（以下、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt という。）が算出される。

【0032】

そして、上記反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ と、上記インピーダンス Z の微分値 dZ/dt とに基づいて、負荷側の回路における異常の発生が判定される。例えば反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超え、かつ上記インピーダンス Z の微分値 dZ/dt が予め設定された所定の第3基準値を超えたとき、負荷側の回路における異常の発生が判定される。あるいはまた、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数が所定の第1基準回数を超え、かつインピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の第3基準値を超える回数を所定の第3基準回数を超えたとき、負荷側の回路における異常発生と判定される。

【0033】

このように、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ 及びインピーダンス Z の微分値 dZ/dt により異常検出を行うと、負荷側での異常を確実に検出することができる。すなわち、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ を求めることにより、高周波電源の出力端から負荷側に至る回路において異常が生じたことを検出することができるが、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ のみでは、負荷のみで生じる異常を特定したい場合、それを特定することは困難である。高周波電源の出力端 A から負荷側に至る回路には、伝送線路やインピーダンス整合器が含まれているからである。一方、負荷の入力端においてインピーダンス Z を測定するのみでは、負荷では通常、被加工物の加工中においてインピーダンスが多少なりとも変動するので、異常と判定するための基準値を定めることは難しく負荷に生じる異常を検出することは困難である。そこで、本願発明では、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ に加えてインピーダンス Z の微分値 dZ/dt を求めることにより、特に負荷における異常を特定してそれを確実に検出するようにしている。

【0034】

なお、インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量に対する第3基準値は、正常値よりも小さい値に設定してもよいし、大きい値に設定してもよい。第3基準値を正常値よりも小さい値に設定した場合は、演算値が第3基準値よりも大きい値から第3基準値よりも小さい値になったときが、第3基準値を超えたときである。また、第3基準値を正常値よりも大きい値に設定した場合は、演算値が第3基準値よりも小さい値から第3基準値よりも大きい値になったときが、第3基準値を超えたときである。

【0035】

また、上記高周波電力供給システムにおいて、上記第1の検出手段により検出された進行波に関する情報と上記第2の検出手段により検出された反射波に関する情報とに基づいて、当該第1、第2の検出手段の検出点における反射係数の大きさを演算する演算手段を更に備え、上記異常判定手段は、上記第1の微分演算手段により演算された反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量、上記演算手段により演算された反射係数の大きさ、及び上記第2の微分演算手段により演算されたインピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量に基づいて、上記第3、第4の検出手段の検出点から負荷側における異常の発生を判定するようにしてもよい（請求項11）。

【0036】

この場合、上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超え、上記反射係数の大きさが予め設定された所定の第2基準値を超え、更に上記インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第3基準値を超えたとき、異常発生と判定するようにすればよい（請求項12）。

【0037】

また、上記高周波電力供給システムにおいて、上記異常判定手段は、上記反射係数の大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第1基準値を超える回数を計数する第1の計数手段と、上記反射係数の大きさが予め設定された所定の第2基準値を超える回数を計数する第2の計数手段と、上記インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量が予め設定された所定の第3基準値を超える回数を計数する第3の計数手段と、を備え、上記第1の計数手段で計数された回数が予め設定された第1基準回数を超え、上記第2の計数手段で計数された回数が予め設定された第2基準回数を超え、更に上記第3の計数手段で計数された回数が予め設定された第3基準回数を超えたとき、異常発生と判定するようにしてもよい（請求項13）。

【0038】

上記構成によれば、高周波電源からインピーダンス整合器を介して負荷に高周波電力が供給されているとき、進行波情報と反射波情報とが検出され、これらの進行波情報と反射波情報とに基づいて、反射係数 Γ の大きさとこの反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ とが算出される。また、上記負荷に対する入力電圧と入力電流とが検出され、これらの入力電圧と入力電流とに基づいて、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt が算出される。そして、この反射係数 Γ の大きさと反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ とインピーダンス Z の微分値 dZ/dt とに基づいて、負荷側の回路における異常の発生が判定される。

【0039】

例えば反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超え、反射係数 Γ の大きさが所定の第2基準値を超え、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の第3基準値を超えたとき、負荷側の回路における異常の発生が判定される。あるいはまた、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数が所定の第1基準回数を超え、反射係数 Γ の大きさが所定の第2基準値を超える回数が所定の第2基準回数を超え、かつインピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の第3基準値を超える回数が所定の第3基準回数を超えたとき、負荷側の回路における異常の発生が判定される。

【0040】

このように、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ 及びインピーダンス Z の微分値 dZ/dt に加え反射係数 Γ の大きさを加味して、上記負荷側の回路における異常の発生が判定されるので、上述した異常判定の精度が向上する。

【0041】

また、上記高周波電力供給システムにおいて、上記異常判定手段により異常発生と判定されたとき、上記高周波電源から出力される電力量を減少方向に変更する出力電力変更手段を更に備えるとよい（請求項15）。この場合、上記出力電力変更手段は、上記高周波電源から出力される電力量をゼロにしてもよい（請求項16）。また、上記出力電力変更手段により上記高周波電源の出力電力量が変更されると、第1の所定時間の経過後に上記高周波電源の出力電力量を元の出力電力量に復帰させる出力電力復帰手段を更に備えるとよい（請求項17）。また、更に上記出力電力変更手段により上記高周波電源の出力電力量が変更されると、上記インピーダンス整合器の整合動作を停止させ、そのときの状態を保持する整合動作停止手段を更に備えるとよい（請求項18）。

【0042】

この構成によれば、異常判定手段により異常発生と判定されたとき、高周波電源から出力される電力量が、例えば出力電力をゼロにするなどのように減少方向に変更されるので、実際に異常が発生している場合、その異常発生箇所の損傷の拡大や反射波による高周波電源の損傷を低減することができる。また、所定の時間経過後に高周波電源から出力される電力量を元に復帰させるもので、実際に異常が発生し、その異常が回復可能な軽微なものである場合、高周波電源から負荷への高周波電力供給の効率低下を可能な限り抑制することができる。また、高周波電源から出力される電力量が減少方向に変更されているとき、インピーダンス整合器の整合動作を停止させ、その状態を保持しているので、高周波電源の電力出力を復帰したときのインピーダンス整合器の整合動作を迅速に行うことができ

る。

【0043】

また、上記高周波電力供給システムにおいて、上記異常判定手段により異常発生と判定され、上記出力電力変更手段により上記高周波電源の出力電力量が変更されてから上記出力電力復帰手段により元の出力電力量に復帰後、第2の所定時間経過まで上記異常判定手段の判定動作を禁止する第1判定禁止手段を更に備えるとよい（請求項19）。

【0044】

この構成によれば、高周波電源の出力電力量が元の出力電力量に復帰後、上記インピーダンス整合器により上記高周波電源と上記負荷とがインピーダンス整合されるまでは、インピーダンス整合器が整合状態に引き込む途中で反射係数 Γ の大きさや反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の基準値を超える可能性があり、異常判定手段の判定が誤動作となる可能性が高いが、この期間の異常判定手段の判定動作を禁止しているので、その誤動作を確実に防止することができる。

【0045】

また、上記高周波電力供給システムにおいて、ユーザによる操作によって上記高周波電源の電力供給動作が開始された後、またはユーザによる操作によって電力供給動作中に出力電力設定値が変更された後、第2の所定時間経過まで上記異常判定手段を禁止する第2判定禁止手段を更に備えるとよい（請求項20）。この場合、上記第2の所定時間は、上記インピーダンス整合器により上記高周波電源と上記負荷とがインピーダンス整合されるまでの時間よりも長くてもよい（請求項21）。

【0046】

また、上記第1の検出手段により検出される情報には少なくとも進行波の電力値または電圧値が含まれ、上記第2の検出手段により検出される情報には少なくとも反射波の電力値または電圧値が含まれる（請求項22、23）。

【0047】

本願発明のその他の特徴および利点は、添付図面を参照して以下に行う詳細な説明によって、より明らかとなろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0048】

以下、本願発明の好ましい実施の形態を、添付図面を参照して具体的に説明する。

【実施例1】

【0049】

図1は、本願発明の実施例1に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。このシステムは、半導体ウェハや液晶基板などの被加工物に対して高周波電力を供給して、たとえばプラズマエッチングといった加工処理を行うものである。このシステムは、高周波電源1、インピーダンス整合器2、異常検出装置3、伝送線路4、負荷接続部5及びプラズマ処理装置からなる負荷Lで構成されている。

【0050】

高周波電源1には、たとえば同軸ケーブルからなる伝送線路4を介してインピーダンス整合器2が接続され、インピーダンス整合器2には、たとえば電磁波が漏れないように遮蔽された銅板からなる負荷接続部5を介して負荷L（たとえばプラズマ処理装置）が接続されている。また、高周波電源1には、異常検出装置3が接続されている。なお、異常検出装置3は、高周波電源1に対して別途独立した態様で設けられているが、これに限らず、異常検出装置3は、高周波電源1の内部に設けられていてもよい。また、異常検出装置3は、インピーダンス整合器2の内部に設けられていてもよい。さらに、高周波電源1は、インピーダンス整合器2を含む構成としてもよい。

【0051】

高周波電源1は、負荷Lに対してたとえば数百kHz以上の周波数を有する高周波電力を供給するための装置であり、高周波発生増幅部11と、方向性結合器12と、電源制御部13とを備えている。

【0052】

高周波発生増幅部11は、負荷Lに供給する高周波電力を発生するものである。高周波発生増幅部11は、図示しない整流回路、平滑回路、電力増幅回路、発振回路などを備え、たとえば入力電源からの入力電圧（たとえばAC200V）を整流・平滑して直流電圧を生成し、この直流電圧をスイッチングすることにより所定の高周波電圧に変換して出力する。この高周波電圧は方向性結合器12及びインピーダンス整合器2を介して負荷Lに供給される。

【0053】

方向性結合器12は、高周波発生増幅部11から負荷L側に進行する高周波電力（以下、進行波という。）と負荷L側から反射してくる高周波電力（以下、反射波という。）を分離するものである。方向性結合器12は、1個の入力ポートと3個の出力ポートを有し、入力ポートには高周波発生増幅部11が接続され、第1出力ポートには伝送線路4が接続されている。また、第2出力ポートと第3出力ポートは、それぞれ後述する異常検出装置3の第1検波部21と第2検波部22とに接続されている。

【0054】

入力ポートから入力される進行波は、第1出力ポートと第2出力ポートから出力され、第1出力ポートから入力される反射波は第3出力ポートから出力される。従って、異常検出装置3の第1検波部21には方向性結合器12の第2出力ポートから出力される進行波PFが入力され、異常検出装置3の第2検波部22には方向性結合器12の第3出力ポートから出力される反射波PRが入力される。

【0055】

なお、図1では省略しているが、本実施形態に係る高周波電力供給システムには高周波電源1からの高周波電力出力開始を指示する出力開始スイッチや高周波電源1から出力される高周波電力の出力値を設定するための出力電力設定スイッチが設けられた操作部が設けられ、操作者により出力開始スイッチが操作されると、図1に示すように、その操作信号である出力開始信号が高周波電源1の電源制御部13と異常検出装置3の異常判定部25に入力され、操作者により出力電力設定スイッチが操作されると、その操作信号である出力電力設定信号が高周波電源1の電源制御部13と異常検出装置3の異常判定部25に入力されるようになっている。

【0056】

電源制御部13は、上記出力開始信号が入力されているときに、方向性結合器12から出力される進行波PFによって求められる進行波電力値と、上記出力電力設定信号で設定された出力電力値とが等しくなるように高周波発生増幅部11に指令信号を出力するものである。なお、進行波電力値だけでなく、方向性結合器12から出力される反射波PRによって求められる反射波電力値を用いて、進行波電力値から反射波電力値を減算した負荷L側電力値（進行波電力値－反射波電力値）と出力設定信号で設定させた出力電力値とが等しくなるように高周波発生増幅部11に対して指令を出力してもよい。

【0057】

また、電源制御部13は、異常検出装置3から入力される異常検出信号に基づいて、高周波発生増幅部11の高周波生成動作を制御するものである。後述するように異常検出装置3では、高周波電源1の出力端Aから見た負荷L側の回路で、例えば伝送線路4内で発生した絶縁破壊やインピーダンス整合器2内で発生した絶縁不良や伝送線路4とインピーダンス整合器2の接続部で発生した接触不良等の異常が発生すると、その異常発生を検出した異常検出信号が出力される。電源制御部13は、異常検出装置3から異常検出信号が入力されると、高周波発生増幅部11による高周波電力の発生を所定の期間Tだけ停止させる。

【0058】

インピーダンス整合器2は、高周波電源1と負荷Lとのインピーダンスを整合させるものである。より具体的には、例えば高周波電源1の出力端Aから電源側を見たインピーダンス（出力インピーダンス）が50Ωに設計され、高周波電源1が特性インピーダンス5

0 Ω の伝送線路 4 でインピーダンス整合器 2 の入力端 B に接続されているとすると、インピーダンス整合器 2 は、当該インピーダンス整合器 2 の入力端 B から負荷 L 側を見たインピーダンスを可及的に 50 Ω に自動調整する。なお、本実施例では特性インピーダンスを 50 Ω としているが、言うまでもなく特性インピーダンスは 50 Ω に限定されるものではない。インピーダンス整合器 2 は、入力検出部 15 と、整合器制御部 16 と、整合部 17 とによって概略構成されている。

【0059】

入力検出部 15 は、高周波電源 1 から入力される高周波電力（入射波）の高周波電圧 V、高周波電流 I、およびそれらの位相差 θ を検出するものである。入力検出部 15 で検出された高周波電圧 V、高周波電流 I 及び位相差 θ は、整合器制御部 16 に入力される。

【0060】

整合器制御部 16 は、入力検出部 15 から入力された高周波電圧 V、高周波電流 I 及び位相差 θ を用いて入力インピーダンス Z_{in} （入力端 B から負荷 L 側を見たインピーダンス）を算出し、この入力インピーダンス Z_{in} が 50 Ω になるように、整合部 17 の可変インピーダンス素子である可変キャパシタ VC1、VC2（後述）を制御するものである。より具体的には、整合器制御部 16 は、 $|V|/|I|$ が所定の範囲内、例えば $50 \pm 5 \Omega$ になり、位相差 θ が略 0° となるように、整合部 17 の可変キャパシタ VC1、VC2 を制御する。

【0061】

整合部 17 は、インダクタ L1 と可変インピーダンス素子である可変キャパシタ VC1、VC2 とを、いわゆる π 型に接続した回路で構成されている。可変キャパシタ VC1、VC2 は、図略の電動モータからなる駆動部材により対向電極の一方が移動可能になされ、一方電極を移動させることにより、対向電極の面積が変化して各キャパシタンスが変化するようになっている。また、可変キャパシタ VC1、VC2 の一方電極の駆動は整合器制御部 16 からの制御信号に基づいて制御されるようになっている。従って、整合部 17 は、整合器制御部 16 からの制御信号に基づいて可変キャパシタ VC1、VC2 の各キャパシタンスを変化させ、これにより入力インピーダンス Z_{in} の大きさ（絶対値）が所定の範囲（たとえば $50 \pm 5 \Omega$ ）内に入るように、かつ位相差が略 0° となるように調整する。なお、図 1 の実施例による整合部 17 の回路構成は、 π 型であるが、これに代えて、T 型、L 型、逆 L 型等が採用されてもよい。また、可変インピーダンス素子として可変キャパシタに代えて、可変インダクタが採用されてもよい。

【0062】

整合器制御部 16 には、異常検出装置 3 から動作禁止信号が入力されるようになっている。この動作禁止信号は、整合器制御部 16 による上述した整合動作を禁止させる信号で、例えば整合動作を禁止させるとき、ハイレベルとなる矩形波信号である。異常検出装置 3 は、異常を検出すると、高周波電源 1 に異常検出信号を出力すると同時に所定の時間 T だけハイレベルとなる動作禁止信号を整合器制御部 16 に出力する。これにより整合器制御部 16 は、異常検出装置 3 で異常が検出されると、高周波電源 1 が一時停止されている時間、インピーダンス整合器 2 の整合動作を停止させる。

【0063】

このように、高周波電源 1 の電力出力動作を一時停止させている期間にインピーダンス整合器 2 の整合動作も停止させるのは、高周波電源 1 から電力が出力されなければ、入力検出部 15 でインピーダンス整合を自動調整するための入力インピーダンス Z_{in} が検出できないことや、電力非出力中にインピーダンス整合器 2 の整合動作をさせると、整合部 17 の可変キャパシタ VC1、VC2 のキャパシタンス値が不定となるため、高周波電源 1 の電力出力動作が再開されたとき、可変キャパシタ VC1、VC2 のキャパシタンス値が不整合の大きい値に変動されていると、迅速に整合状態に引き込むことができないという問題が生じるからである。

【0064】

電力非出力中にインピーダンス整合器 2 の整合動作を停止させていれば、可変キャパシ

タ VC1; VC2 のキャパシタンス値が電力停止直前の調整値からより不整合の大きい値に変動することがなく、高周波電源 1 の電力出力動作の再開後に迅速にインピーダンス整合器 2 を整合状態にすることができる。

【0065】

負荷 L は、半導体ウェハや液晶基板などの被加工物をエッチングや CVD などの方法を用いて加工するためのプラズマ処理装置である。プラズマ処理装置では、被加工物の加工目的に応じて各種の加工プロセスが実行される。たとえば、被加工物に対してエッチングを行う場合には、そのエッチングに応じたガス種類、ガス圧力、高周波電力の供給電力値、および高周波電力の供給時間などが適切に設定された加工プロセスが行われる。プラズマ処理装置では、被加工物が配置される容器（図略）内にプラズマ放電用ガスを導入し、そのプラズマ放電用ガスを放電させて非プラズマ状態からプラズマ状態にしている。そして、プラズマ状態になったガスを用いて被加工物を加工している。

【0066】

異常検出装置 3 は、負荷 L における異常、同軸ケーブルである伝送線路 4 や同軸ケーブルの両端に設けられる同軸コネクタにおける絶縁不良、絶縁破壊、接触不良などの異常が発生した場合に、それを検出するものである。異常検出装置 3 は、第 1 検波部 21 と、第 2 検波部 22 と、反射係数演算部 23 と、反射係数 Γ の大きさの単位時間当たりの変化量を演算する微分演算部 24 と、微分演算部 24 の出力に基づいて異常であるか否かを判定する異常判定部 25 とによって構成されている。

【0067】

第 1 検波部 21 は進行波 P F の振幅 V_f を検波するものであり、第 2 検波部 22 は反射波 P R の振幅 V_r を検波するものである。第 1 検波部 21 および第 2 検波部 22 は、例えばダイオードと RC ローパスフィルタとからなる周知のダイオード検波回路によって構成されている。第 1 検波部 21 及び第 2 検波部 22 の検出値 V_f , V_r は、反射係数演算部 23 に入力される。なお、第 1, 第 2 検波器 21, 22 は整流回路で構成してもよい。

【0068】

反射係数演算部 23 は、第 1 検波部 21 から入力される進行波 P F の振幅 V_f と第 2 検波部 22 から入力される反射波 P R の振幅 V_r とから反射係数 $\Gamma = V_r / V_f$ を算出するものである。反射係数演算部 23 は、進行波 P F の振幅 V_f 及び反射波 P R の振幅 V_r を A/D コンバータによりデジタルの振幅値 D_f , D_r に変換した後、 D_r / D_f を演算することにより反射係数 Γ の値を算出する。反射係数 Γ の演算処理は所定の周期 Δt で行われる。また、反射係数 Γ のデータは微分演算部 24 に入力される。

【0069】

なお、反射係数演算部 23 では、アナログ信号で V_r / V_f の信号を生成し、この信号を A/D コンバータによりデジタルデータに変換するようにしてもよい。また、第 1 検波部 21 及び第 2 検波部 22 を電力検出回路で構成し、それぞれ進行波 P F の電力 W_f と反射波 P R の電力 W_r を検出するようにしてもよい。この場合は、反射係数演算部 23 では $(W_r / W_f)^{1/2}$ を演算することにより反射係数 Γ が算出される。

【0070】

微分演算部 24 は、反射係数演算部 23 によって求められた反射係数 Γ の大きさの単位時間当たりの変化量を求めるものである。換言すれば、微分演算部 24 は、反射係数 Γ の大きさの微分量 ($d\Gamma / dt$) を求めるものである。以下、反射係数 Γ の大きさの単位時間当たりの変化量を反射係数の微分値 $d\Gamma / dt$ という。

【0071】

微分演算部 24 では、反射係数演算部 23 から所定の周期 dt で反射係数 Γ が入力される毎に、前回入力された反射係数 Γ_1 と今回入力された反射係数 Γ_2 との差 $d\Gamma = \Gamma_2 - \Gamma_1$ が算出されるとともに、 $d\Gamma / dt$ が演算される。なお、反射係数演算部 23 からアナログ信号により反射係数 Γ が入力される場合、この反射係数 Γ の信号を A/D コンバータによりデジタルデータに変換した後、 $d\Gamma / dt$ が演算されることになる。微分演算部 24 の演算結果 ($d\Gamma / dt$) は、異常判定部 25 に入力される。

【0072】

異常判定部 25 では、微分演算部 24 から入力される反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ に基づいて、異常が発生しているか否かを判定し、異常発生と判定した場合は、異常を示す異常検出信号を第 1 所定時間 T (図 2 参照) だけ高周波電源 1 の電源制御部 13 に対して出力するとともに、整合器制御部 16 に対して動作禁止信号を出力する。

【0073】

すなわち、異常判定部 25 は、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ を予め設定された所定の基準値と比較し、微分値 $d\Gamma/dt$ が基準値を超えている場合、高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側に至る回路において何らかの異常が発生していると判定し、第 1 所定時間 T だけ、例えばハイレベルに反転する異常検出信号を出力する。例えば反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が図 3 に示すように変化した場合、異常判定部 25 は、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が基準値を超えたタイミング t_1 でハイレベルに反転する異常検出信号を所定の時間 T だけ出力する。なお、図 3 において、タイミング t_2 は反射係数 Γ が極値となるタイミングである。異常判定部 25 は、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ により異常検出を行っているため、反射係数 Γ により異常検出を行うよりも速く、瞬時に異常検出が可能になっている。

【0074】

そして、この異常を示す異常検出信号によって、電源制御部 13 は、高周波発生増幅部 11 による高周波電力の発生を所定の時間 T だけ停止させる。また、整合器制御部 16 は、動作禁止信号によってその整合動作を禁止させる。

【0075】

また、異常判定部 25 は、異常が発生していると判定し、第 1 所定時間 T だけ経過した後、異常検出信号の出力レベルを反転させる (図 2 の a 参照)。これにより、電源制御部 13 は、高周波電源 1 から高周波電力の出力の停止を解除し、再び、高周波電力を出力させる。また、異常判定部 25 は、整合器制御部 16 に対して出力する動作禁止信号の出力レベルを反転させる (図 2 の b 参照)。これにより、整合器制御部 16 は、その整合動作を再開させる。

【0076】

さらに、異常判定部 25 は、その異常判定動作を、上記第 1 所定時間 T が経過した後、さらに予め設定される第 2 所定時間 T' が経過するまで禁止する。すなわち、異常判定動作は、異常が発生していると判定されたときから $T+T'$ の時間だけ禁止される。なお、この第 2 所定時間 T' は、高周波電源 1 が高周波出力動作を開始した後、実質的にインピーダンス整合器 2 によってインピーダンス整合されるまでの想定時間よりも長く設定された時間であり、経験的にまたは実験的に求められた値である。また、異常が発生していると判定されていなくても、最初に高周波電力の出力動作を開始したとき、または高周波電力の出力電力設定値が変更されたときは、第 2 所定時間 T' が経過するまで異常判定動作が禁止される。

【0077】

なお、最初に高周波電力の出力動作を開始したときは、出力開始信号を監視することにより判定することができる。また、高周波電力の出力電力設定値が変更されたか否かは、出力電力設定信号を監視することにより判定することができる。

【0078】

高周波電源 1 が高周波電力の出力を開始した直後、または電力供給動作中に出力電力設定値が変更された直後は、高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側に至る回路が異常でないにもかかわらず、不整合状態となり、反射係数 Γ が増加して異常と誤検出されることがある。そのため、上記第 2 所定時間 T' の期間は、異常判定動作を禁止するようにしている。

【0079】

一方、インピーダンス整合器 2 が整合状態を維持しているときに異常が発生した場合は、上述したように異常検出装置 3 で反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ により、その異常を瞬時

に検出し、高周波電源 1 の高周波出力動作とインピーダンス整合器 2 の整合動作を停止させる。異常検出装置 3 は、実質的に高周波電源 1 が高周波出力動作を開始し（一時停止後に再度開始された場合を含む。）、インピーダンス整合器 2 による整合状態が維持されるようになった後に異常判定動作を行う。

【0080】

異常判定部 25 は、たとえば図示しない報知装置に接続されており、異常検出信号はこの報知装置と高周波電源 1 の電源制御部 13 に入力される。また、異常検出信号と同時に、例えばハイレベルに反転する動作禁止信号がインピーダンス整合器 2 に入力される。報知装置は異常検出信号が入力されると、表示または音声により異常が発生していることを報知する。また、上述したように、高周波電源 1 は、異常検出信号が入力されると、所定の時間 T だけ高周波電力の出力動作を停止し、インピーダンス整合器 2 は、動作禁止信号が入力されると、所定の時間 T だけ整合動作を停止する。

【0081】

次に、実施例 1 に係る高周波電力供給システムにおける異常検出処理について説明する。

【0082】

プラズマ処理装置（負荷 L）でプラズマ加工を行うべく高周波電源 1 の電源がオンにされると、高周波電源 1 から所定の高周波電力が生成され、伝送線路 4、インピーダンス整合器 2 及び負荷接続部 5 を介して負荷 L に供給される。

【0083】

インピーダンス整合器 2 に高周波電源 1 から高周波電力が入力されると、この入力電力に基づいてインピーダンス整合器 2 の入力インピーダンス Z_{in} （入力端 B のインピーダンス）の大きさ $|V|/|I|$ と位相差 θ が検出され、この検出情報に基づいて入力インピーダンス Z_{in} が特性インピーダンス 50Ω になるように整合部 17 の可変キャパシタ VC1、VC2 が自動調整される。

【0084】

高周波電源 1 を起動した直後、すなわち、インピーダンス整合器 2 に高周波電源 1 から高周波電力が入力された直後は、インピーダンス整合器 2 の入力インピーダンス Z_{in} は通常、特性インピーダンス（ 50Ω ）からずれ、不整合状態となっているが、インピーダンス整合器 2 がインピーダンスの自動調整動作を開始すると、例えば 3 秒程度の所定の時間が経過後には入力インピーダンス Z_{in} は予め設定された整合範囲（例えば $50 \pm 5\Omega$ ）に調整される。そして、その後は、インピーダンス整合器 2 は負荷 L のインピーダンス Z_L の変動に応じて可変キャパシタ VC1、VC2 を変化させ、入力インピーダンス Z_{in} が常に所定の整合範囲内に入るように自動調整する。

【0085】

高周波電源 1 は、高周波電力の供給を開始すると、高周波電力の進行波 P F と反射波 P R とを分離して異常検出装置 3 に入力する。異常検出装置 3 は、進行波 P F と反射波 P R から反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ を算出し、この反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ の変化に基づいて高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側の回路で異常が発生している否かを判定する。すなわち、異常検出装置 3 は、高周波電源 1 が電力供給を開始すると、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ の変化に基づいて高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側の回路で異常発生の有無の監視を開始する。

【0086】

なお、異常検出装置 3 は、異常が発生していると判定されたときから T+T' の時間（図 2 参照）だけ異常判定動作が禁止されるので、実質的に異常検出装置 3 による異常発生の有無の監視は、インピーダンス整合器 2 によるインピーダンス整合の調整が終了し、その整合状態の維持に移行したときから開始される。

【0087】

従って、この高周波電力供給システムでは、プラズマ処理装置 L がプラズマ処理を終了するまで、すなわち、高周波電源 1 からの電力供給が停止されるまで、異常検出装置 3 に

より高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側での異常発生の有無が監視されながら、インピーダンス整合器 2 により高周波電源 1 とプラズマ処理装置 L とのインピーダンス整合が自動的に調整され、高周波電源 1 から高周波電力は可及的に効率良くプラズマ処理装置 L に供給される。

【0088】

ここで、高周波電源 1 から負荷 L に高周波電力が供給されているときに、高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側の回路、例えば伝送線路 4 の線路上や伝送線路 4 と高周波電源 1 又はインピーダンス整合器 2 との接続コネクタ、インピーダンス整合器 2 の内部等で絶縁破壊や絶縁不良、接触不良などの異常が発生すると、その異常発生点のインピーダンスが変化し、反射波が増大することになる。

【0089】

インピーダンス整合器 2 の出力端から負荷 L 側で異常が発生した場合は、負荷 L 側のインピーダンスの変動に応じてインピーダンス整合器 2 が自動的にインピーダンス整合を取るように動作するので、高周波電力供給システムは、可及的に負荷 L 側に高周波電力を供給し、高周波電源側への反射波の増大を抑制するように動作する。このため、この状態が継続すると、負荷 L 側の異常発生箇所が高周波電力が供給されてその損傷状態が更に拡大することになる。また、その損傷が拡大し、インピーダンス整合器 2 ではインピーダンス整合が取れなくなると、非常に大きな反射波が高周波電源 1 に戻ってきて当該高周波電源 1 も損傷する事態になる。

【0090】

同様の現象は、高周波電源 1 とインピーダンス整合器 2 との間で異常が発生した場合にも生じる。しかし、この場合は、インピーダンス整合器 2 によるインピーダンス整合動作は作用しないので、例えば伝送線路 4 で絶縁不良や絶縁破壊が発生した場合は、その損傷箇所インピーダンス不整合となり、非常に大きな反射波が高周波電源 1 に戻り、当該高周波電源 1 を損傷させることになる。

【0091】

しかし、本実施例に係る高周波電力供給システムでは、異常検出装置 3 で高周波電源 1 から入力された入射波 P F 及び反射波 P R から算出した反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ を用いて異常の発生を監視しているので、高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側の回路で異常が発生すると、異常検出装置 3 に入力される反射波 P R が増大し、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の基準値を超えるため、直ちに異常の発生が検出される。

【0092】

図 2 に示したように、異常判定部 25 で異常発生と判定されると、異常判定部 25 から高周波電源 1 の電源制御部 13 と報知装置に異常検出信号（ハイレベルの信号）が入力される。電源制御部 13 は、異常検出信号が入力されると、高周波発生増幅部 11 を制御して、高周波電力の発生を停止する（高周波電力の出力波形参照）。また、報知装置では、異常検出信号が入力されると、高周波電力供給システムに異常が発生した旨の報知が行われる。

【0093】

このように、異常発生が検出されると、異常検出信号により高周波電源 1 の電力出力動作が直ちに停止されるので、上述の異常発生箇所の損傷の拡大が防止されるとともに、当該高周波電源 1 の反射波による損傷も未然に防止される。特に、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ により異常検出しているので、実際に異常が発生して反射係数 Γ の大きさが異常値に変化する前に早期に異常が検出され、高周波電源 1 の電力出力停止などの安全措置が有効に作用する。

【0094】

その後、電源制御部 13 は、高周波発生増幅部 11 による高周波電力の発生を停止させた後、所定時間 T の経過後に元の出力量で高周波電力を出力させる。これは、異常検出によって検出される異常が、例えばプラズマ処理装置 L で生じるアーク放電のように瞬時的に大きな負荷変動である場合や損傷が生じていたとしても自然回復可能な場合があり、こ

のような場合にも常に手動で電力供給を回復させるのでは作業効率を徒に低下させるため、高周波電力供給システムを自動的に復帰させることにより作業効率の低下を低減するようにしたものである。なお、所定の時間 T は、経験的にまたは実験的に求められた値である。

【0095】

本実施形態では、作業効率の観点から異常検出時に所定の時間 T だけ高周波電源 1 の電力出力動作を停止させるようにしているが、より安全性を考慮して高周波電源 1 の電力出力動作を完全に停止させるようにしてもよい。

【0096】

また、異常判定部 25 で異常発生と判定されると、図 2 に示したように、異常判定部 25 からインピーダンス整合器 2 の整合器制御部 16 に動作禁止信号（ハイレベルの信号）が入力される。整合器制御部 16 は、動作禁止信号が入力されると、整合部 17 の可変インピーダンス素子である可変キャパシタ $VC1$ 、 $VC2$ の駆動制御を所定の時間 T だけ停止し、可変キャパシタ $VC1$ 、 $VC2$ のキャパシタンス値を異常発生時の状態に保持する。

【0097】

これにより、所定の時間 T の経過後に高周波電源 1 の電力出力動作が復帰したとき、インピーダンス整合器 2 は、高周波電源 1 の電力出力動作が停止したときの可変キャパシタ $VC1$ 、 $VC2$ のキャパシタンス値からインピーダンス整合動作を開始することになるので、不整合状態が大きくずれていることがなく、迅速にインピーダンス整合動作を行うことができる。

【0098】

異常検出装置 3 の異常判定動作は、高周波電源 1 の電力供給が復帰されてもインピーダンス整合器 2 が不整合状態であるため、整合状態に引き込むまでの時間 T' が経過するまで、禁止状態を示すローレベル（動作オフ）が保持される。

【0099】

従って、異常判定部 25 の判定動作の禁止状態は高周波電源 1 の電力供給が停止してから所定の時間 T とインピーダンス整合器 2 が整合状態に至るまでの時間 T' が経過するまで継続される。これにより、高周波電源 1 の電力供給が復帰した直後のインピーダンス不整合状態における異常検出装置 3 の誤動作は防止される。

【実施例 2】

【0100】

図 4 は、本願発明の実施例 2 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。実施例 1 では、高周波電源 1 の出力端 A における高周波出力の反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ に基づいて、高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側での異常を検出するようにしたが、実施例 2 では、高周波電源 1 の出力端 A における高周波出力の反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ と、負荷 L の入力端におけるインピーダンスの微分値とに基づいて、負荷 L における異常を特定して検出するものである。

【0101】

実施例 1 と異なる点について説明すると、インピーダンス整合器 2 には、整合部 17 の後段に、電圧検出部 18 及び電流検出部 19 が設けられている。

【0102】

電圧検出部 18 は、整合部 17 の出力端 C における高周波電力の電圧値 V_L を検出するものである。換言すれば、整合部 17 の出力端 C は、電磁波が漏れないように遮蔽された負荷接続部 5 を介して負荷 L に接続されているため、電圧検出部 18 は、負荷 L 側の入力端における高周波電力の電圧値 V_L を検出する。

【0103】

電流検出部 19 は、整合部 17 の出力端 C における高周波電力の電流値 I_L を検出するものである。換言すれば、整合部 17 の出力端 C は、負荷接続部 5 を介して負荷 L に接続されているため、電流検出部 19 は、負荷 L 側の入力端における高周波電力の電流値 I_L

を検出する。

【0104】

電圧検出部 18 によって検出された電圧値 V_L 及び電流検出部 19 によって検出された電流値 I_L は、異常検出部 3 のインピーダンス演算部 26 (後述) に与えられる。

【0105】

異常検出装置 3 には、インピーダンス演算部 26 と、インピーダンスの大きさの単位時間当たりの変化量を演算する第 2 微分演算部 27 とが設けられている。なお、実施例 1 で説明した微分演算部 24 は、この実施例 2 では、便宜上「第 1 微分演算部 24」として説明する。

【0106】

インピーダンス演算部 26 は、電圧検出部 18 から入力される負荷 L の入力端における電圧値 V_L と電流検出部 19 から入力される負荷 L の入力端における電流値 I_L とからインピーダンス $Z = V_L / I_L$ を算出するものである。インピーダンス演算部 26 は、電圧検出部 18 から入力される電圧値 V_L 及び電流検出部 19 から入力される電流値 I_L を A/D コンバータによりデジタルの振幅値 D_v 、 D_i に変換した後、 D_v / D_i を演算することによりインピーダンス Z の値を算出する。インピーダンス Z の演算処理は所定の周期 Δt で行われる。また、インピーダンス Z のデータは第 2 微分演算部 27 に入力される。なお、インピーダンス演算部 26 では、アナログ信号で V_L / I_L の信号を生成し、この信号を A/D コンバータによりデジタルデータに変換するようにしてもよい。

【0107】

第 2 微分演算部 27 は、インピーダンス演算部 26 によって求められたインピーダンス Z の大きさの単位時間当たりの変化量を求めるものである。換言すれば、第 2 微分演算部 27 は、インピーダンス Z の大きさの微分値 (dZ / dt) を求めるものである。以下、インピーダンス Z の大きさの単位時間当たりの変化量をインピーダンスの微分値 dZ / dt という。

【0108】

第 2 微分演算部 27 では、インピーダンス演算部 26 から所定の周期 dt でインピーダンス Z が入力される毎に、前回入力されたインピーダンス Z_1 と今回入力されたインピーダンス Z_2 との差 $dZ = Z_2 - Z_1$ が算出されるとともに、 dZ / dt が演算される。なお、インピーダンス演算部 26 からアナログ信号によりインピーダンス Z が入力される場合、このインピーダンス Z の信号を A/D コンバータによりデジタルデータに変換した後、 dZ / dt が演算されることになる。第 2 微分演算部 27 の演算結果 (dZ / dt) は、異常判定部 25 に入力される。

【0109】

異常判定部 25 では、第 1 微分演算部 24 から入力される反射係数の微分値 $d\Gamma / dt$ 及び第 2 微分演算部 27 から入力されるインピーダンスの微分値 dZ / dt に基づいて、異常が発生しているか否かを判定し、異常発生と判定した場合は、異常を示す異常検出信号を第 1 所定時間 T (図 2 参照) だけ高周波電源 1 の電源制御部 13 に対して出力するとともに、整合器制御部 16 に対して動作禁止信号を出力する。

【0110】

すなわち、異常判定部 25 は、反射係数の微分値 $d\Gamma / dt$ を予め設定された所定の基準値と比較するとともに、インピーダンスの微分値 dZ / dt を予め設定された所定の基準値と比較し、微分値 $d\Gamma / dt$ が基準値を超え、かつ微分値 dZ / dt が基準値を超えている場合、負荷 L 側において何らかの異常が発生していると判定し、第 1 所定時間 T (図 2 参照) だけ、例えばハイレベルに反転する異常検出信号を出力する。

【0111】

例えば、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma / dt$ が図 3 に示すように変化した場合、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma / dt$ が基準値を超え (タイミング t_1 参照)、かつインピーダンスの微分値 dZ / dt が図 5 に示すように変化した場合、インピーダンス Z の微分値 dZ / dt が基準値を超え (タイミング t_1' 参照) たとき、異常判定部 25 はハイレベルを出力する

。なお、図3において、タイミング t_2 は反射係数 Γ が極値となるタイミングであり、図5において、タイミング t_2' はインピーダンス Z が極値となるタイミングである。

【0112】

このように、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ 及びインピーダンス Z の微分値 dZ/dt により異常検出を行うと、負荷 L 側での異常を確実に検出することができる。すなわち、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ を求めることにより、高周波電源1の出力端Aから負荷 L 側に至る回路において異常が生じたことを検出することができるが、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ のみでは、負荷 L のみで生じる異常を特定したい場合、それを特定することは困難である。すなわち、高周波電源1の出力端Aから負荷 L 側に至る回路には、伝送線路4やインピーダンス整合器2が含まれているからである。一方、負荷 L の入力端においてインピーダンス Z を測定するのみでは、負荷 L では通常、加工中においてインピーダンスが多少なりとも変動するので、異常と判定するための基準値を定めることは難しく負荷 L に生じる異常を検出することは困難である。

【0113】

そこで、本実施例2では、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ に加えてインピーダンス Z の微分値 dZ/dt を求めることにより、特に負荷 L における異常を特定してそれを確実に検出するようにしている。

【0114】

異常判定部25は、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ 及びインピーダンスの微分値 dZ/dt により異常検出を行っているので、単に反射係数 Γ の大きさにより異常検出を行う、又はインピーダンス Z の大きさにより異常検出を行うよりも速く、瞬時に異常検出が可能になっている。

【0115】

より具体的に動作を説明すれば、高周波電源1は、高周波電力の供給を開始すると、高周波電力の進行波 P_F と反射波 P_R とを分離して異常検出装置3に入力する。一方、インピーダンス整合器2は、負荷 L の入力端における電圧値及び電流値を異常検出装置3に入力する。異常検出装置3は、進行波 P_F と反射波 P_R から反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ を算出するとともに、インピーダンス整合器2からの電圧値及び電流値からインピーダンスの微分値 dZ/dt を算出し、この反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ の変化及びインピーダンスの微分値 dZ/dt の変化に基づいて負荷 L 側の回路で異常が発生している否かを判定する。すなわち、異常検出装置3は、高周波電源1が電力供給を開始すると、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ の変化及びインピーダンスの微分値 dZ/dt の変化に基づいて負荷 L 側で異常発生の有無の監視を開始する。

【0116】

この場合、異常検出装置3では、高周波電源1から入力された入射波 P_F 及び反射波 P_R から算出した反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ を用いて異常の発生を監視しているため、負荷 L における異常を含む、高周波電源1の出力端Aから負荷 L に至る回路、例えば伝送線路4の線路上や伝送線路4と高周波電源1又はインピーダンス整合器2との接続コネクタ、インピーダンス整合器2の内部等で絶縁破壊や絶縁不良、接触不良等の異常、あるいは負荷 L の異常が発生したことを予想することができる。

【0117】

しかし、本実施例2の構成では、更に異常検出装置3で負荷 L の入力端における電圧値 V_L 及び電流値 I_L から算出したインピーダンス Z の dZ/dt を用いて異常の発生を監視しているので、高周波電源1の出力端Aから負荷 L 側の回路での異常を検出することができるだけでなく、負荷 L における異常を特定し、それを確実に検出することができる。

【0118】

また、本実施例2においては、高周波電源1の出力端Aと電圧や電流の検出点との間における異常も特定することができる。例えば、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の基準値を超えるが、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の基準値を超えていない場合、高周波電源1の出力端Aと電圧や電流の検出点との間における異常、例えば伝送線路

4の線路上や伝送線路4と高周波電源1又はインピーダンス整合器2との接続コネクタ、インピーダンス整合器2の内部等で絶縁破壊や絶縁不良、接触不良等の異常と特定することができる。

【0119】

なお、この異常を示す異常検出信号によって、電源制御部13が高周波発生増幅部11による高周波電力の発生を第1所定時間Tだけ停止させる制御、整合器制御部16が動作禁止信号によってその整合動作を禁止させる制御などは、実施例1と同様であるため、ここでは省略する。

【実施例3】

【0120】

図6は、本願発明の実施例3に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。実施例1では反射係数 Γ の検出点を高周波電源1内の出力端近傍に設けていたが、実施例3は、反射係数 Γ の検出点を伝送線路4上に設けたものである。具体的には、図6に示す構成は、高周波電源1の方向性結合器12を除去し、伝送線路4上に方向性結合器6を設けたものである。高周波電源1と方向性結合器6との間、および方向性結合器6とインピーダンス整合器2との間は、同軸ケーブルからなる伝送線路4によってそれぞれ接続されている。また、方向性結合器6の第2出力ポートと第3出力ポートは、それぞれ異常検出装置3の第1検波部21と第2検波部22とに接続されている。

【0121】

実施例3に係る高周波電力供給システムにおける異常判定動作は、上述した実施例1に係る高周波電力供給システムにおける異常判定動作と同一である。従って、ここでは、詳細説明は省略する。実施例3に係る高周波電力供給システムでは、異常検出点が伝送線路4上（具体的には方向性結合器6の位置）になるので、方向性結合器6から負荷L側の回路での異常、具体的には方向性結合器6とインピーダンス整合器2を結合する伝送線路4や接続コネクタでの絶縁破壊や接触不良、インピーダンス整合器2内での絶縁不良、負荷Lでの異常などが検出され、上述した実施例1と同様の作用効果を奏する。

【0122】

なお、反射係数 Γ の検出点を伝送線路4上に設けた実施例3の構成を、負荷Lの入力端におけるインピーダンスの微分値を検出する図4に示した実施例2の構成に適用するようにしてもよい。

【実施例4】

【0123】

図7は、本願発明の実施例4に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。実施例1では、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ を用いて異常発生を判定していたが、実施例3は反射係数 Γ と反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ の両方を用いて異常発生を判定するようにしたものである。具体的には、図7は、図1において、反射係数演算部23と異常判定部25との間に第1比較部28を設け、微分演算部24と異常判定部25との間に第2比較部29を設けたものである。

【0124】

第1比較部28には反射係数演算部23で演算された反射係数 Γ が入力され、第2比較部29には微分演算部24で演算された反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が入力される。

【0125】

第2比較部29は、微分演算部24から入力される反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ を予め定められた第1基準値と比較し、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が当該第1基準値を超えたとき、その旨の信号（例えばローレベルからハイレベルに反転する信号）を出力するものである。この信号は異常判定部25に入力される。

【0126】

また、第1比較部28は、反射係数演算部23から入力される反射係数 Γ の大きさを予め定められた第2基準値と比較し、反射係数 Γ の大きさが当該第2基準値を超えたとき、その旨の信号（例えばローレベルからハイレベルに反転する信号）を出力するものである。

。この信号も異常判定部 25 に入力される。

【0127】

異常判定部 25 は、図略の AND 回路を有し、この AND 回路で第 1 比較部 28 および第 2 比較部 29 から入力される信号の論理積が演算され、その演算結果の信号が異常検出信号として出力される。すなわち、第 1 比較部 28 及び第 2 比較部 29 から入力される信号がいずれもハイレベルのとき、異常判定部 25 からハイレベルの信号が出力され、第 1 比較部 28 及び第 2 比較部 29 から入力される信号のいずれかがローレベルのとき、異常判定部 25 からローレベルの信号が出力される。なお、異常判定部 25 における信号のローレベル、ハイレベルの関係は逆になっていてもよい。

【0128】

実施例 4 に係る高周波電力供給システムでは、異常判定部 25 において、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ と反射係数 Γ とがそれぞれ対応する第 1 基準値と第 2 基準値と比較され、両パラメータが基準値を超えると、異常発生と判定される。その他の動作については実施例 1 と同一であるので、説明を省略する。

【0129】

このように、実施例 4 では反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ だけでなく、反射係数 Γ も加味して異常発生を判定するので、より確実にかつ精度よく異常を検出することができる。

【0130】

なお、異常判定部 25 における異常判定では、第 1 比較部 28 の比較結果および第 2 比較部 29 の比較結果の AND 条件で、すなわち、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が第 1 基準値を超え、かつ、反射係数 Γ が第 2 基準値を超えたとき、異常発生と判定していたが、これに代えて、第 1 比較部 28 の比較結果および第 2 比較部 29 の比較結果の OR 条件で、すなわち、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が第 1 基準値を超えたとき、または反射係数 Γ が第 2 基準値を超えたとき、異常発生と判定するようにしてもよい。

【実施例 5】

【0131】

図 8 は、本願発明の実施例 5 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。実施例 4 では、反射係数 Γ の大きさと反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ とを用いて異常発生を判定していたが、実施例 5 は、反射係数 Γ の大きさと反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ の両方及びインピーダンス Z の微分値 dZ/dt を用いて異常発生を判定するようにしたものである。具体的には、図 8 は、実施例 4 を示す図 7 において、インピーダンス整合器 2 に電圧検出部 18 及び電流検出部 19 を設け、異常検出装置 3 にインピーダンス演算部 26 及び第 2 微分演算部 27 を設けたものである。

【0132】

この実施例 5 では、第 1 比較部 28 及び第 2 比較部 29 において、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ と反射係数 Γ の大きさとがそれぞれ対応する第 1 基準値と第 2 基準値と比較され、それらがともに対応する基準値を超えると、ハイレベルを出力する。異常検出装置 3 の異常判定部 25 は、第 1 比較部 28 及び第 2 比較部 29 から入力される信号がいずれもハイレベルであって、第 2 微分演算部 27 から入力されるインピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の基準値を超えると、異常発生と判定される。その他の動作については実施例 1 と同一であるので、説明を省略する。

【0133】

このように、実施例 5 では反射係数 Γ の大きさ及び反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ だけでなく、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt をも加味して異常発生を判定するので、より確実にかつ精度よく負荷 L における異常を検出することができる。

【0134】

なお、異常判定部 25 における異常判定では、第 1 比較部 28 の比較結果、第 2 比較部 29 の比較結果、及び第 2 微分演算部 27 の出力に基づく演算結果の AND 条件で、すなわち、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が第 1 基準値を超え、反射係数 Γ が第 2 基準値を超え、更にインピーダンス Z の微分値 dZ/dt が第 3 基準値を超えたとき、異常発生と判

定していたが、これに代えて、第1比較部28の比較結果、第2比較部29の比較結果、及び第2微分演算部27の出力に基づく演算結果のOR条件で、すなわち、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が第1基準値を超えたとき、反射係数 Γ が第2基準値を超えたとき、又はインピーダンス Z の微分値 dZ/dt が第3基準値を超えたとき異常発生と判定するようにしてもよい。

【実施例6】

【0135】

図9は、本願発明の実施例6に係る高周波電力供給システムを示す図である。実施例1では、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超えると、直ちに異常発生と判定していたが、実施例6は、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数をカウントし、その回数が所定の基準回数を超えると、異常発生と判定するようにしたものである。従って、図9は、図1において、微分演算部24と異常判定部25との間に計数部31を設けたものである。その他の構成は、実施例1に係る高周波電力供給システムと同一であるので、ここでは実施例1と相違する計数部31と異常判定部25の動作について簡単に説明する。

【0136】

図9における計数部31は、微分演算部24で演算された反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ を所定の第1基準値と比較し、当該微分値 $d\Gamma/dt$ が第1基準値を超える回数を計数するものである。すなわち、例えば反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が図10に示すように変化した場合、計数部31は、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ が第1基準値を超えたタイミング t_1 、 t_2 、 t_3 で内蔵カウンタのカウント値を1ずつ増加させ、そのカウント値を異常判定部25に出力する。

【0137】

異常判定部25は、計数部31から計数値が入力されると、その計数値が第1基準値を超えると、異常発生と判定する。

【0138】

実施例6では、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数が所定の基準回数を超えたとき、異常発生と判定し、異常報知や高周波電力の出力停止措置が行われるようにしているので、例えば反射係数 Γ が図19に示すように断続的に増大する場合、各反射係数 Γ の変化が生じているときに高周波電力の伝送回路上に軽微の損傷が発生し、これらの損傷が繰り返されて致命的な損傷に至るような場合に早期に異常発生を検出して、その損傷の増大を未然に防止することができる。

【0139】

なお、実施例6の変形例として、実施例4（図7参照）と同様に反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ に反射係数 Γ の大きさを加味するようにしてもよい。この場合は、図9において、反射係数演算部23と異常判定部25との間に計数部（図示せず）を追加し、この計数部で反射係数 Γ の大きさが所定の第2基準値を超える回数を計数し、その計数結果を異常判定部25に入力する。そして、異常判定部25では、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数が所定の第1基準回数を超え、かつ、反射係数 Γ が所定の第2基準値を超える回数が所定の第2基準回数を超えたとき、異常発生と判定される。あるいは、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数が所定の第1基準回数を超えたとき、または、反射係数 Γ の大きさが所定の第2基準値を超える回数が所定の第2基準回数を超えたとき、異常発生と判定される。

【0140】

また、実施例6に示した、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の基準値を超えたときの回数が所定の基準回数を超えたとき、異常と判定する方法では、反射係数 Γ が図11に示すように階段状に変化した場合は、上記計数部31のカウント値は「1」のままで、異常判定部25で異常発生と判定されないが、反射計数 Γ が高い状態が継続しているということは異常が発生している可能性が高いから、異常判定部25で異常発生の見落としが生じる可能性がある。

【0141】

そこで、このような不具合を解消するため、1度目をカウントした後、カウントしたときの反射係数 Γ の大きさが一定値以上であって、所定時間 t_a （図11参照）以上維持される場合には、異常であると判定するようにしてもよい。

【実施例7】

【0142】

図12は、本願発明の実施例7に係る高周波電力供給システムを示す図である。実施例6では、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の基準値を超える回数をカウントし、その回数が所定の基準回数を超えると、直ちに異常発生と判定していたが、実施例7は、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の基準値を超える回数をカウントし、その回数が所定の基準回数を超え、かつインピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の基準値を超える回数をカウントし、その回数が所定の基準回数を超えると、異常発生と判定するようにしたものである。従って、図12は、実施例6を示す図9において、インピーダンス整合器2に電圧検出部18及び電流検出部19を設け、異常検出装置3にインピーダンス演算部26及び第2微分演算部27を設け、更に第2微分演算部27と異常判定部25との間に第2計数部32を設けたものである。なお、図12では、図9に示した計数部31を「第1計数部31」として説明する。

【0143】

第2計数部32は、第2微分演算部27で演算されたインピーダンス Z の微分値 dZ/dt を所定の第3基準値と比較し、当該微分値 dZ/dt が第3基準値を超える回数を計数するものである。すなわち、例えばインピーダンス Z の微分値 dZ/dt が図13に示すように変化した場合、第2計数部32は、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt が第3基準値を超えたタイミング t_1' 、 t_2' 、 t_3' で内蔵カウンタのカウント値を1ずつ増加させ、そのカウント値を異常判定部25に出力する。

【0144】

異常判定部25は、第1計数部31から計数回数が入力され、その計数回数が第1基準回数を超え、かつ第2計数部32から計数回数が入力され、当該計数回数が第3基準回数を超えると、異常発生と判定する。

【0145】

実施例7では、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数が所定の第1基準回数を超え、かつインピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の第3基準値を超える回数が所定の第3基準回数を超えたとき、異常発生と判定し、異常報知や高周波電力の出力停止措置が行われるようにしているので、例えば反射係数 Γ が図19に示すように断続的に増大する場合、及びインピーダンス Z が図14に示すように断続的に減少する場合、各反射係数 Γ の変化が生じているときに高周波電力の伝送線路上に軽微の損傷が発生し、これらの損傷が繰り返されて致命的な損傷に至るような場合に早期に異常発生を検出して、その損傷の増大を未然に防止することができる。

【0146】

なお、実施例7の変形例として、実施例4（図7参照）と同様に、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ 及びインピーダンス Z の微分値 dZ/dt に反射係数 Γ の大きさを加味するようにしてもよい。この場合は、図12において、反射係数演算部23と異常判定部25との間に計数部（図示せず）を追加し、この計数部で反射係数 Γ の大きさが所定の第2基準値を超える回数を計数し、その計数結果を異常判定部25に入力する。そして、異常判定部25では、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数が所定の第1基準回数を超え、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の第3基準値を超える回数が所定の第3基準回数を超え、更に反射係数 Γ の大きさが所定の第2基準値を超える回数が所定の第2基準回数を超えたとき、異常発生と判定される。あるいは、反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ が所定の第1基準値を超える回数、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の第3基準値を超える回数、又は反射係数 Γ の大きさが所定の第2基準値を超える回数のいずれかがそれらに対応する所定の基準回数を超えたとき、異常発生と判定され

る。

【0147】

また、実施例 7 に示したインピーダンス Z の微分値 dZ/dt が所定の基準値を超えたときの回数を計数する方法では、インピーダンス Z が階段状に変化した場合は、上記第 2 計数部 32 のカウント値は「1」のままであるが、インピーダンス Z が低い状態が継続しているということは異常が発生している可能性が高いから、異常判定部 25 で異常発生の見落としが生じる可能性がある。そこで、このような不具合を解消するため、1 度目をカウントした後、カウントしたときのインピーダンス Z の大きさが一定値以下であって、所定時間以上維持される場合には、その旨を異常判定部 25 に出力するようにし、異常判定部 25 では、反射係数 Γ が同様の現象が生じ、第 1 計数部 31 からその旨の出力があった場合、異常と判定してもよい。

【実施例 8】

【0148】

図 15 は、本願発明の実施例 8 に係る高周波電力供給システムを示す図である。実施例 8 は、異常を判定する際のパラメータとしての反射係数 Γ の微分値 $d\Gamma/dt$ に代えて、定在波比の大きさの単位時間当たりの変化量（以下、定在波比の微分値 dS/dt という。）を用いるようにしたものである。従って、図 15 は、図 1 において、反射係数演算部 23 を定在波比演算部 33 に置き換えたものである。その他の構成は、実施例 1 と同一であるから、ここでは定在波比演算部 33 について簡単に説明する。

【0149】

反射係数 Γ は $\Gamma = V_r/V_f$ で、反射係数 Γ と定在波比 S との間には $S = (1 + \Gamma)/(1 - \Gamma)$ との関係があるから、定在波比 S は $S = (V_f + V_r)/(V_f - V_r)$ で算出される。従って、定在波比演算部 33 では、第 1 検波部 21 から入力される進行波 P_F の振幅 V_f と第 2 検波部 22 から入力される反射波 P_R の振幅 V_r とを用いて $S = (V_f + V_r)/(V_f - V_r)$ を演算することにより定在波比 S を算出する。

【0150】

定在波比演算部 33 によって求められた定在波比 S の大きさは、データとして微分演算部 24 に入力され、微分演算部 24 では、定在波比の微分値 dS/dt が演算される。そして、異常判定部 25 において、微分演算部 24 で算出された定在波比 S の微分値 dS/dt が所定の基準値と比較され、微分値 dS/dt が基準値を超えている場合、異常が発生していると判定され、例えばハイレベルに反転する異常検出信号が出力される。

【0151】

実施例 8 は、異常判定のパラメータを定在波比 S としたもので、定在波比 S も反射係数 Γ も入射波に対する比率により反射波の度合いや整合の度合いを示し、反射波の度合いが異常に大きい場合や整合の度合いが異常に悪化した場合は回路に異常が発生していると推定できるから、実施例 8 においても上述した実施例 1 と同様の作用効果を奏することができる。

【0152】

なお、実施例 8 においては、定在波比 S の微分値 dS/dt を異常判定のパラメータとして用いたが、これに代えて定在波比 S の逆数の大きさの単位時間当たりの変化量 $d(1/S)/dt$ を用いてもよい。

【実施例 9】

【0153】

図 16 は、実施例 9 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。実施例 8 では、定在波比の微分値 dS/dt に基づいて異常を検出するようにしたが、実施例 9 は、定在波比の微分値 dS/dt 及びインピーダンス Z の微分値 dZ/dt を用いて異常発生を判定するようにしたものである。具体的には、図 16 は、実施例 8 を示す図 15 において、インピーダンス整合器 2 に電圧検出部 18 及び電流検出部 19 を設け、異常検出装置 3 にインピーダンス演算部 26 及び第 2 微分演算部 27 を設けたものである。

【0154】

この実施例 9 に係る異常検出装置 3 の異常判定部 25 は、定在波比の微分値 dS/dt が第 1 基準値と比較され、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt が第 2 基準値と比較され、各パラメータがそれぞれ対応する基準値を超えると、異常発生と判定される。その他の動作については実施例 8 と同一であるので、説明を省略する。

【0155】

このように、実施例 9 では定在波比の微分値 dS/dt だけでなく、インピーダンス Z の微分値 dZ/dt をも加味して異常発生を判定するので、より確実にかつ精度よく負荷 L における異常を検出することができる。

【0156】

なお、この実施例 9 においては、定在波比の微分値 dS/dt を異常判定のパラメータとして用いたが、これに代えて定在波比の逆数の大きさの単位時間当たりの変化量 $d(1/S)/dt$ を用いてもよい。

【0157】

また、上記実施例 1 ~ 実施例 9 では、異常検出時に高周波電源 1 の出力電力をゼロにしていたが、その出力電力を減少させる方向に変更するようにしてもよい。例えば出力電力を $1/2$ に低減するようにしてもよい。これによっても、高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側で発生した損傷の拡大を可及的に抑えることができ、反射波電力が高周波電源 1 内の素子 (図略) に過電圧が印加されたり過電流が流れたりして、素子にダメージが加わることを防止することができる。

【0158】

また、方向性結合器 12 は、高周波電源 1 の出力端 A とインピーダンス整合器 2 の整合部 17 の入力端 D との間に設けられていてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0159】

【図 1】 本願発明の実施例 1 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 2】 異常検出信号等の発生タイミングを説明するための図である。

【図 3】 反射係数の微分値と基準値との関係を示す図である。

【図 4】 本願発明の実施例 2 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 5】 インピーダンスの微分値と基準値との関係を示す図である。

【図 6】 本願発明の実施例 3 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 7】 本願発明の実施例 4 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 8】 本願発明の実施例 5 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 9】 本願発明の実施例 6 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 10】 反射係数の微分値と基準値との関係を示す図である。

【図 11】 実施例 6 の変形例を説明するための、反射係数と時間との関係を示す図である。

【図 12】 本願発明の実施例 7 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 13】 インピーダンスの微分値と基準値との関係を示す図である。

【図 14】 インピーダンスと時間との関係を示す図である。

【図 15】 本願発明の実施例 8 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 16】 本願発明の実施例 9 に係る高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 17】 従来の高周波電力供給システムの構成を示す図である。

【図 18】 反射係数と時間との関係を示す図である。

【図 19】 反射係数と時間との他の関係を示す図である。

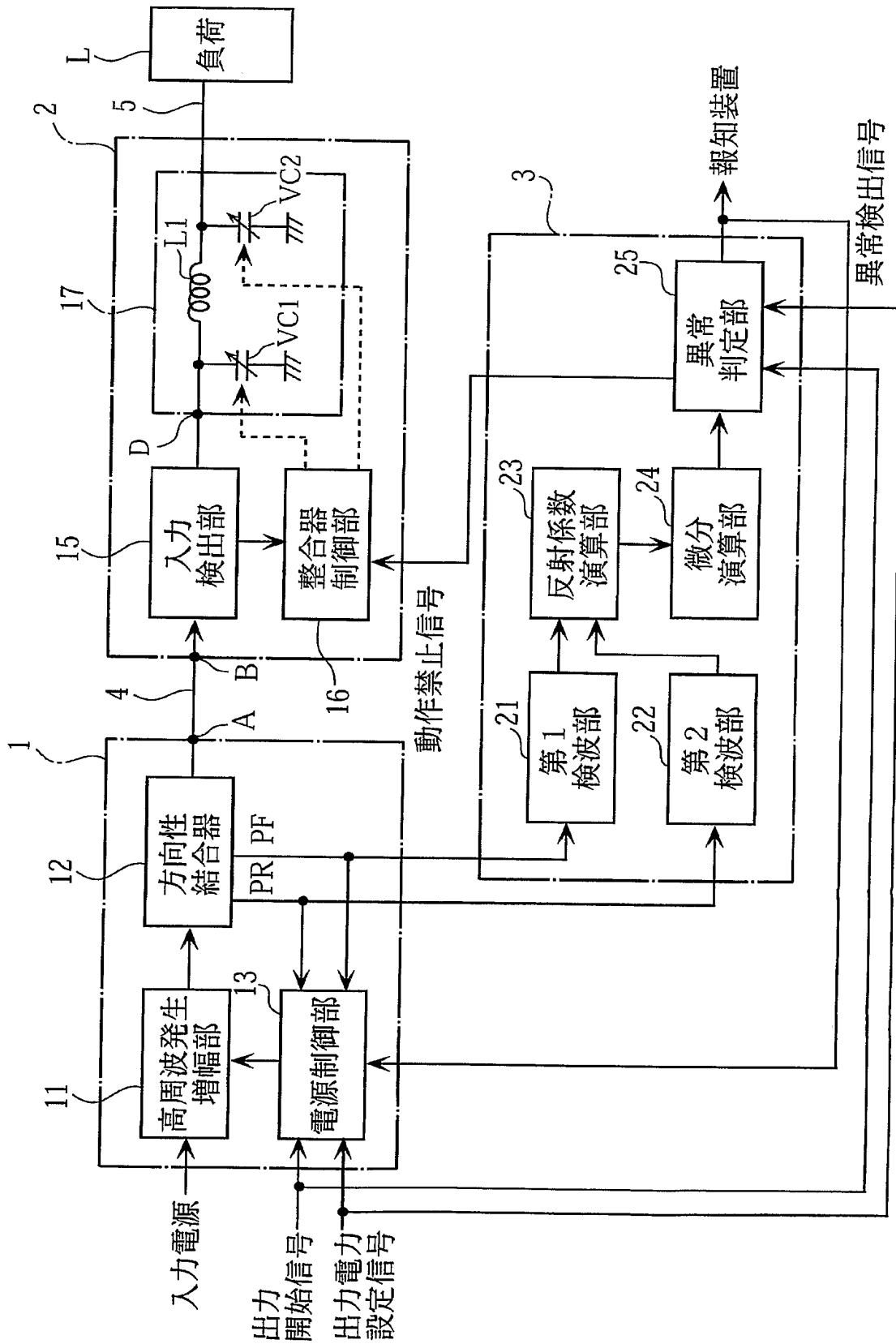
【符号の説明】

【0160】

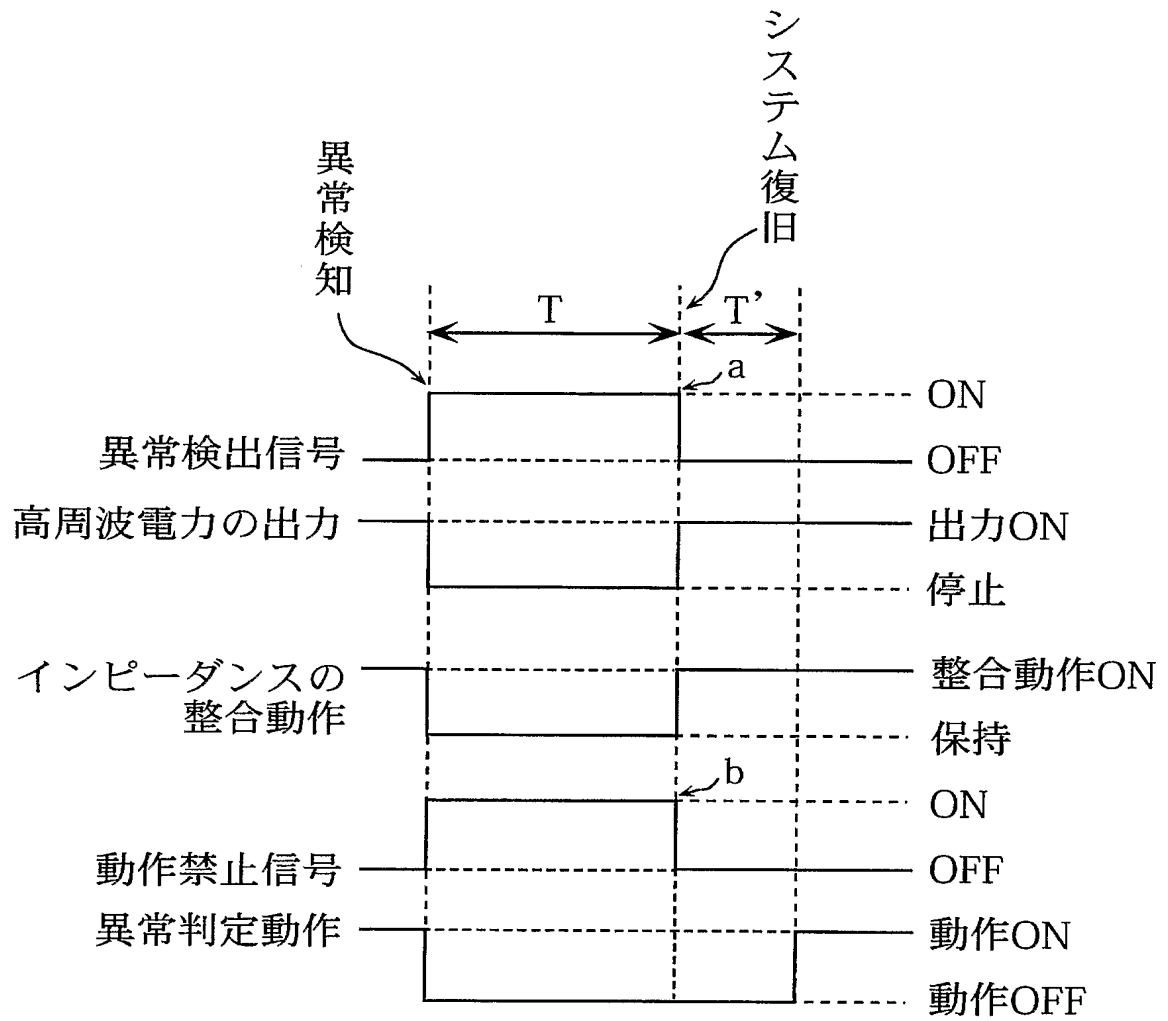
1 高周波電源

- 2 インピーダンス整合器
- 3 異常検出装置
- 4 伝送線路
- 5 負荷接続部
- 1 1 高周波発生増幅部
- 1 2 方向性結合器
- 1 3 電源制御部
- 1 5 入力検出部
- 1 6 整合器制御部
- 1 8 電圧検出部
- 1 9 電流検出部
- 2 3 反射係数演算部
- 2 4 微分演算部
- 2 5 異常判定部
- 2 6 インピーダンス演算部
- 2 7 第 2 微分演算部
- 2 8 第 1 比較部
- 2 9 第 2 比較部
- 3 1 計数部
- 3 2 第 2 計数部
- 3 3 定在波比演算部
- L 負荷
- P F 進行波
- P R 反射波

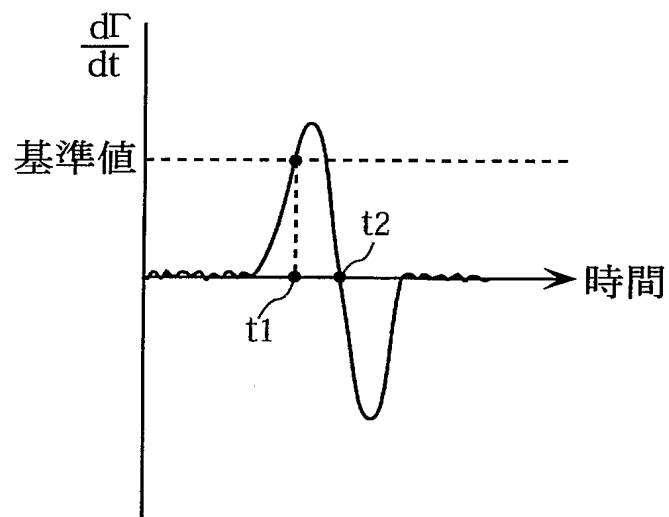
【書類名】 図面
【図 1】



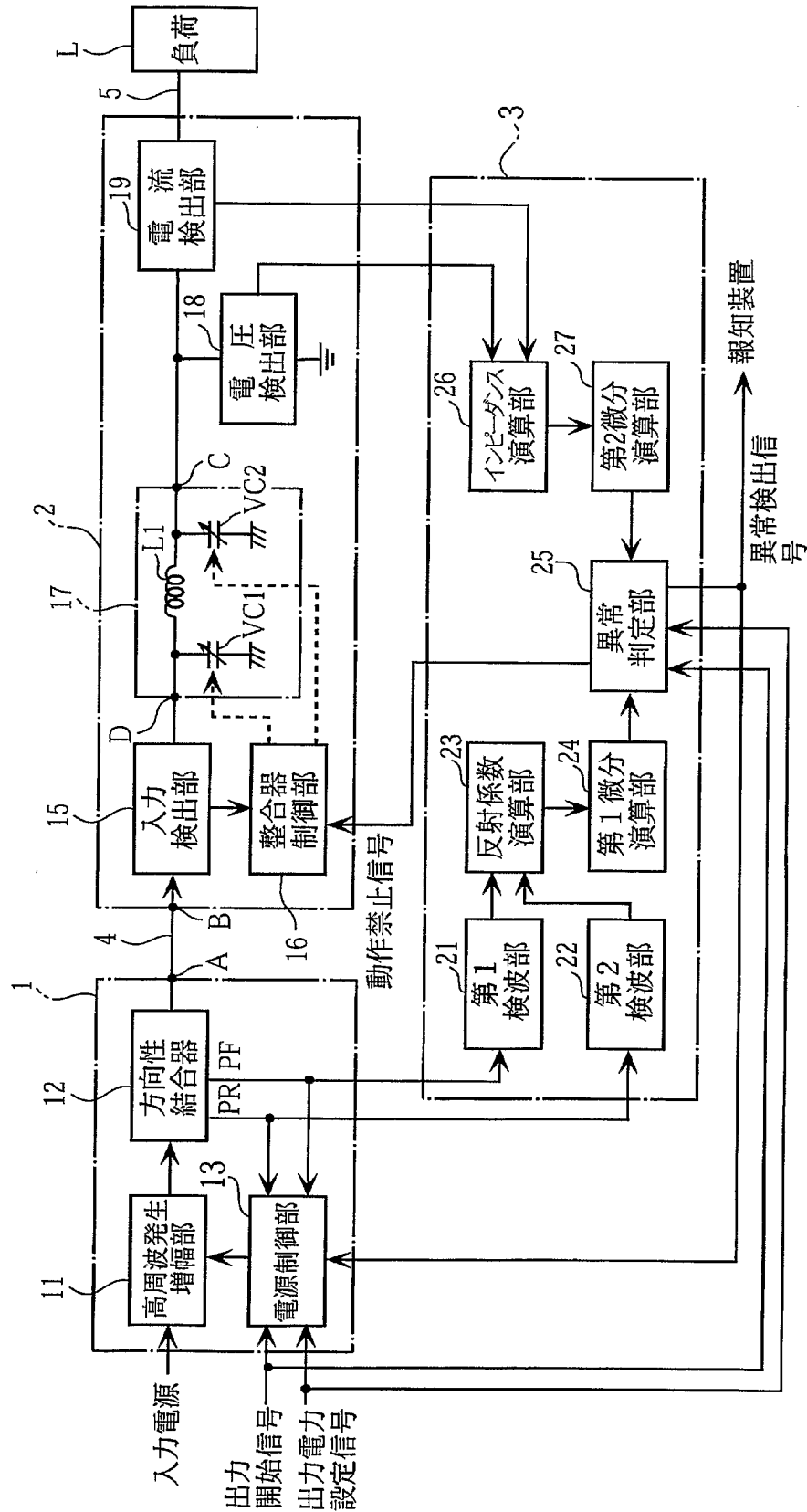
【図 2】



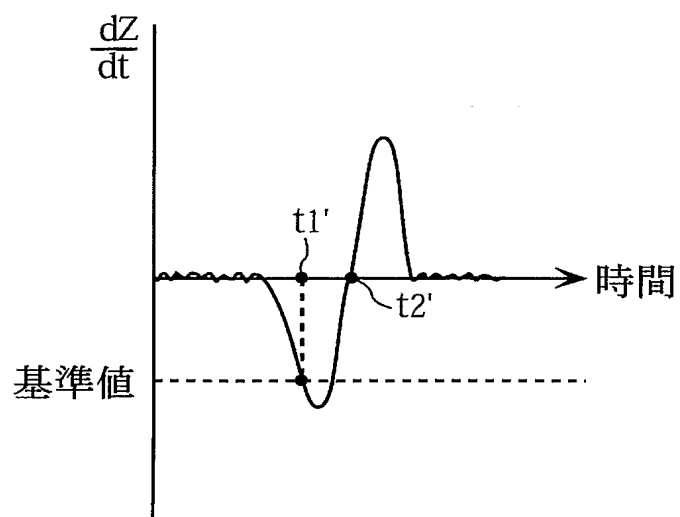
【図 3】



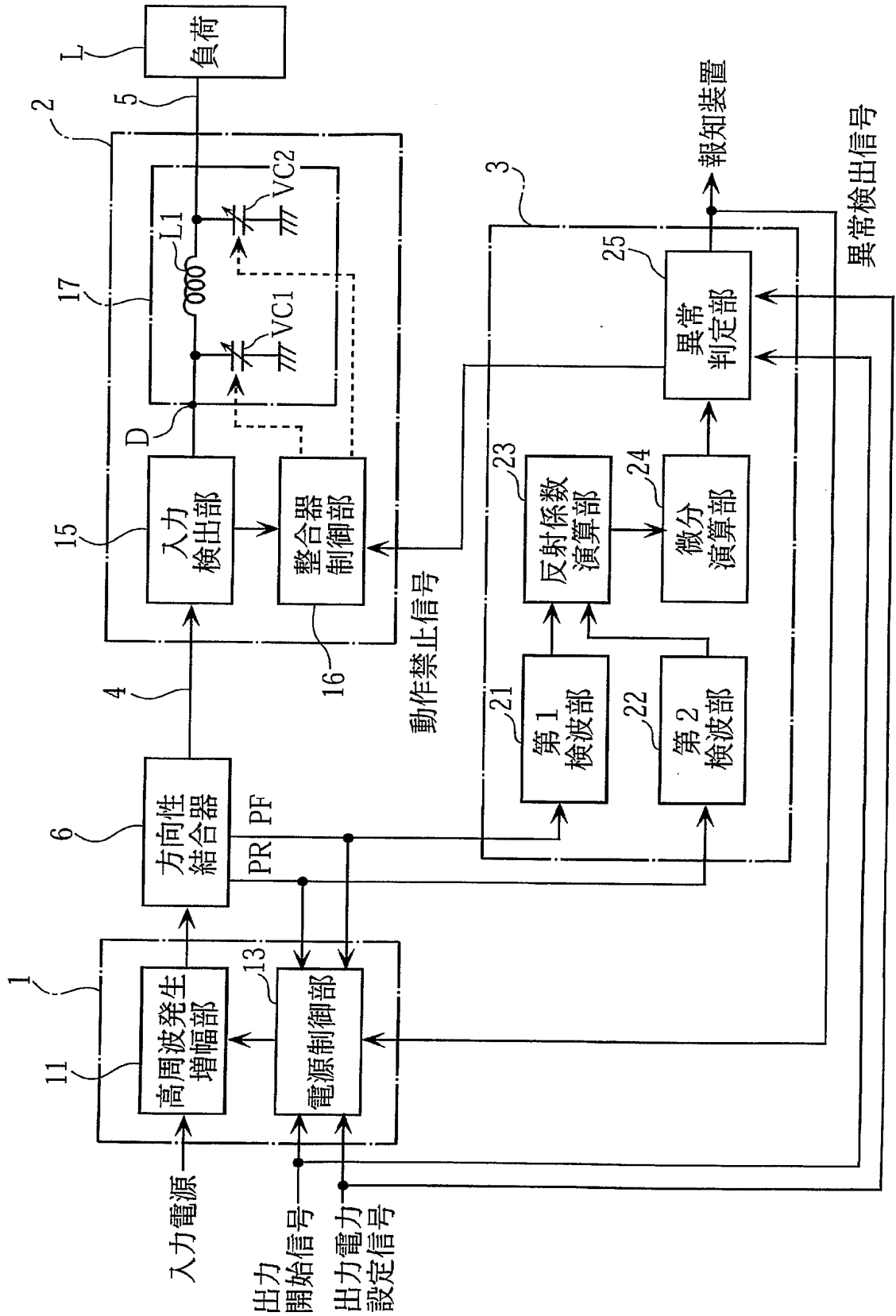
【図 4】



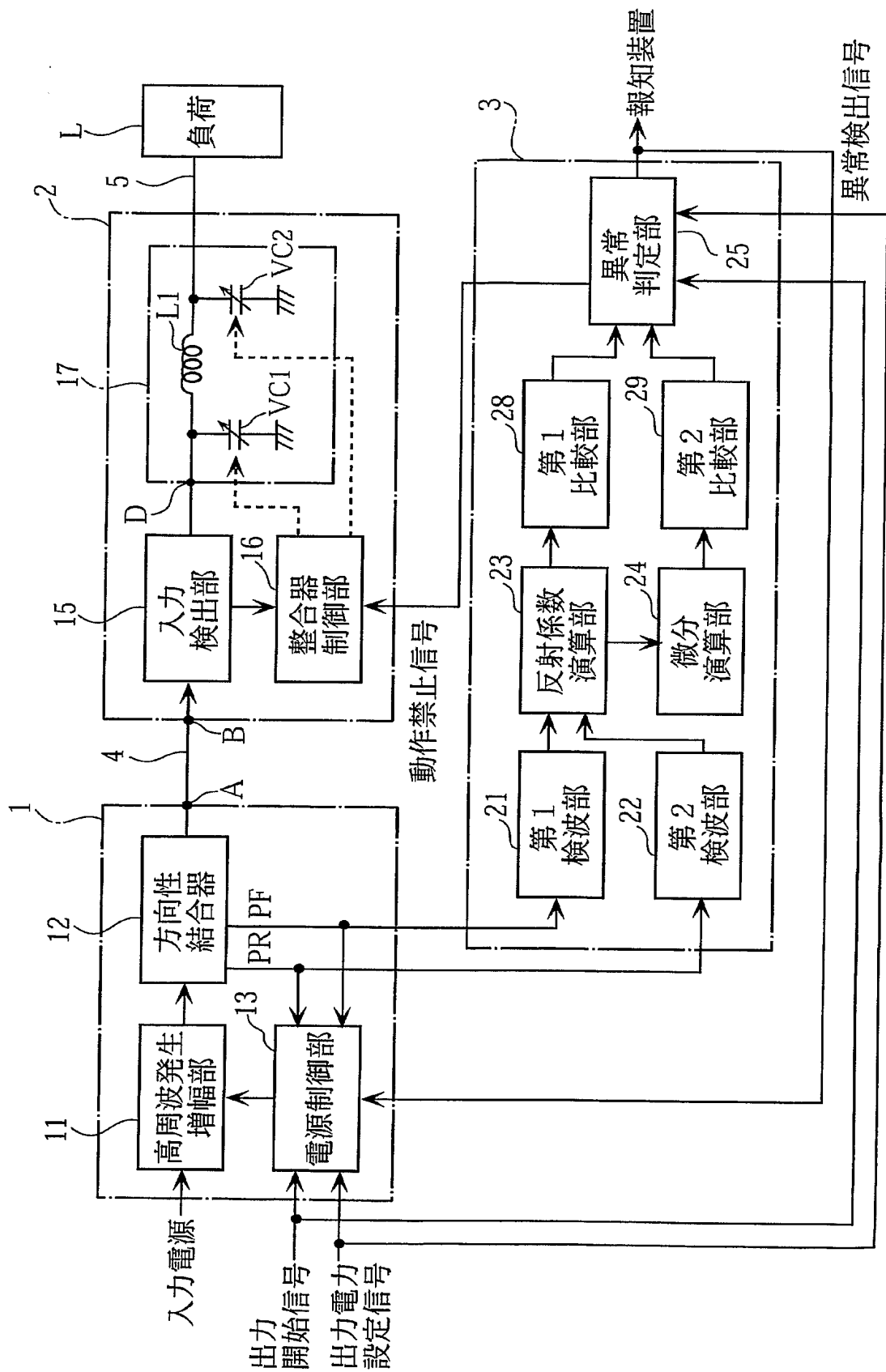
【図 5】



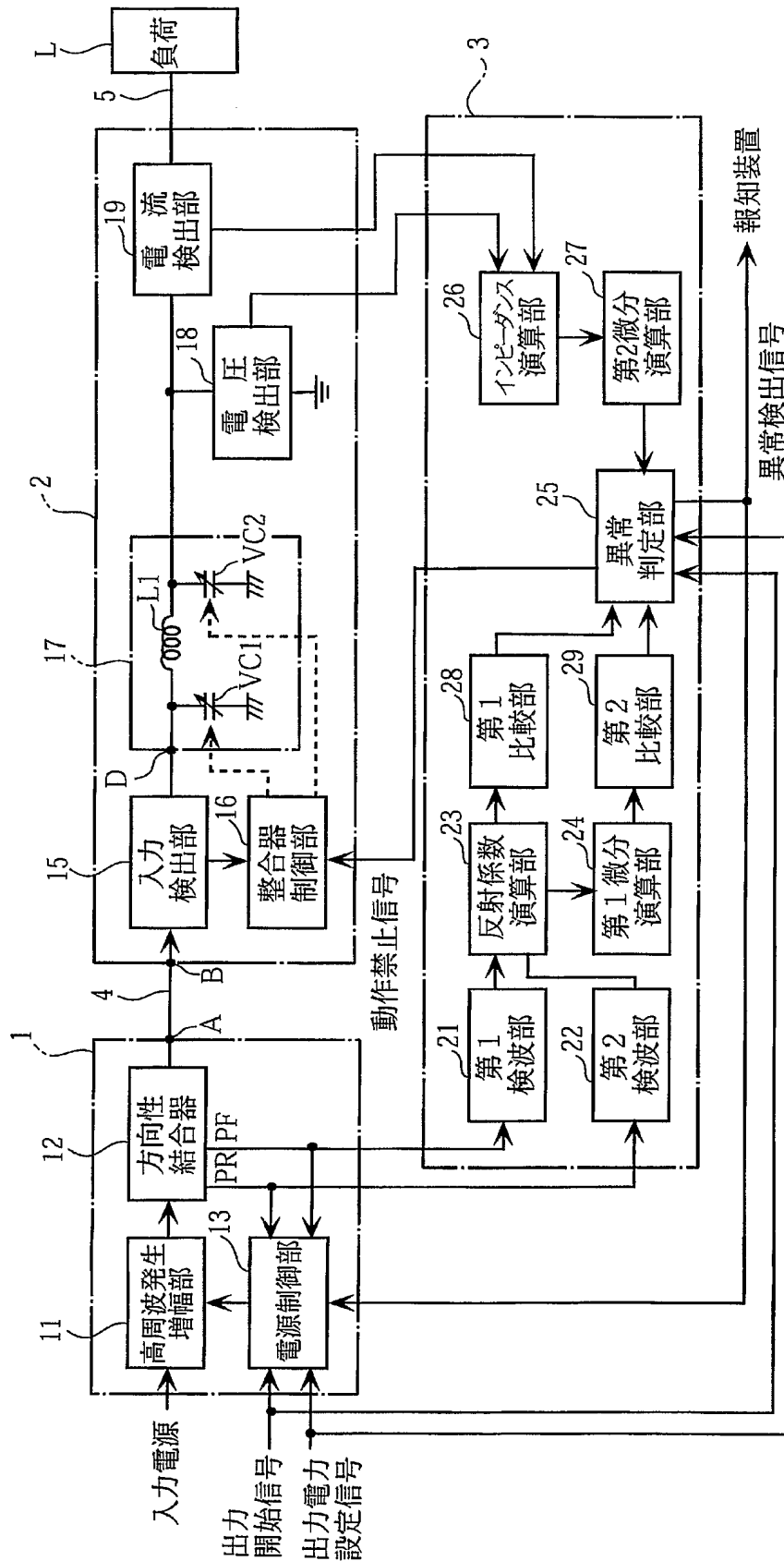
【図 6】



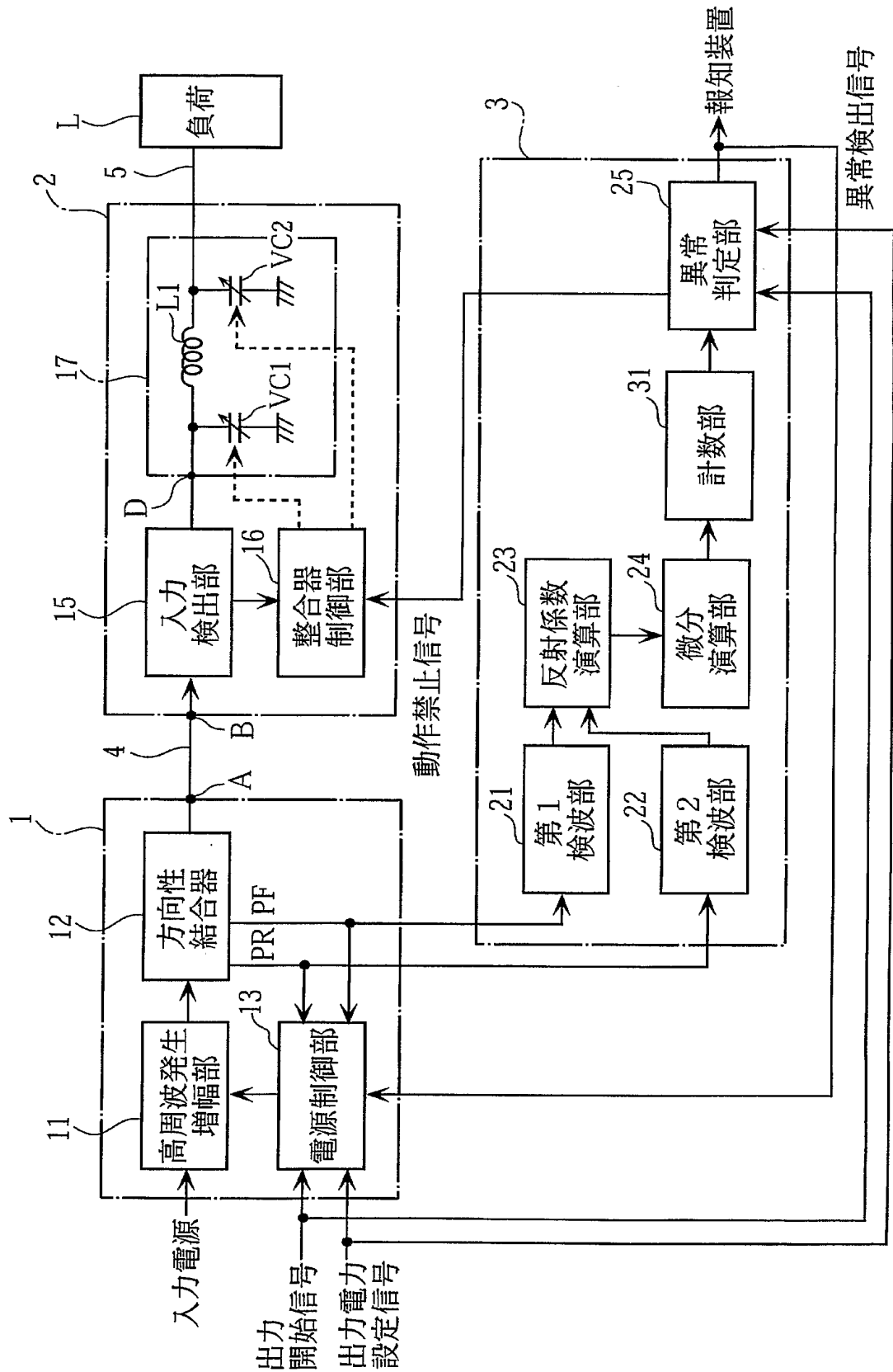
【図 7】



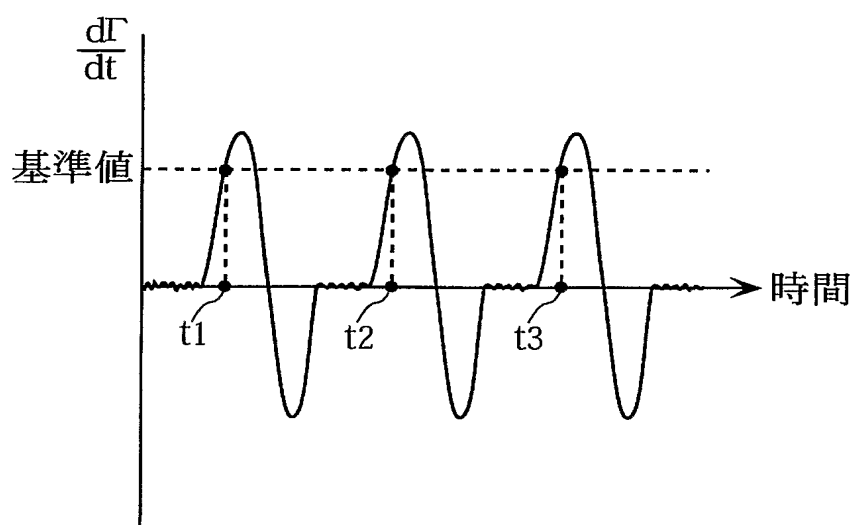
【図 8】



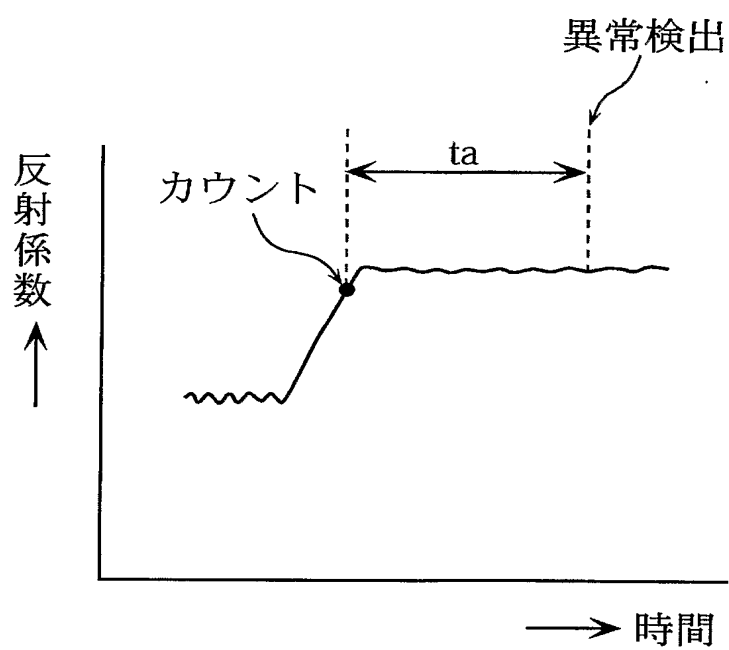
【図 9】



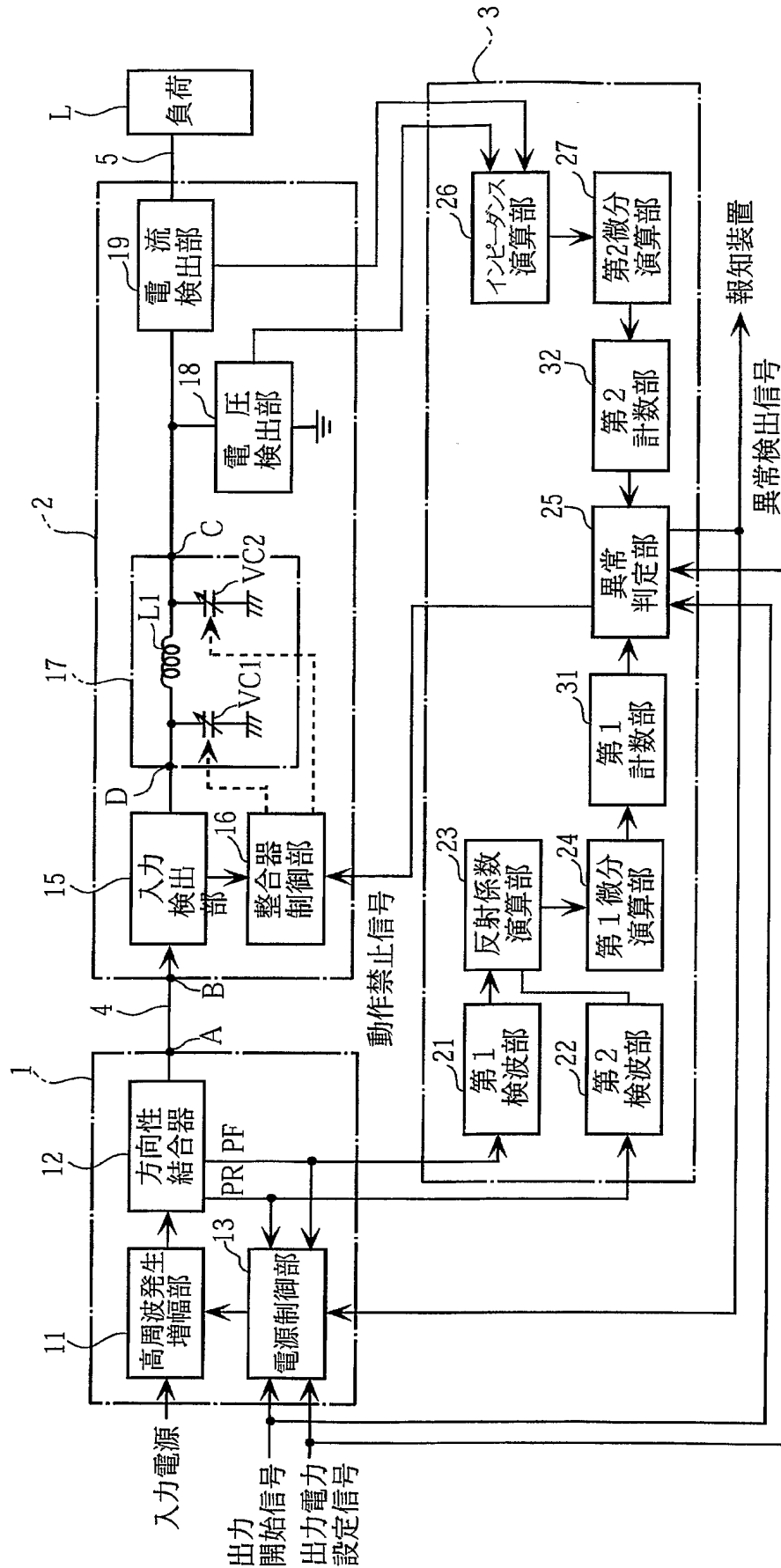
【図 10】



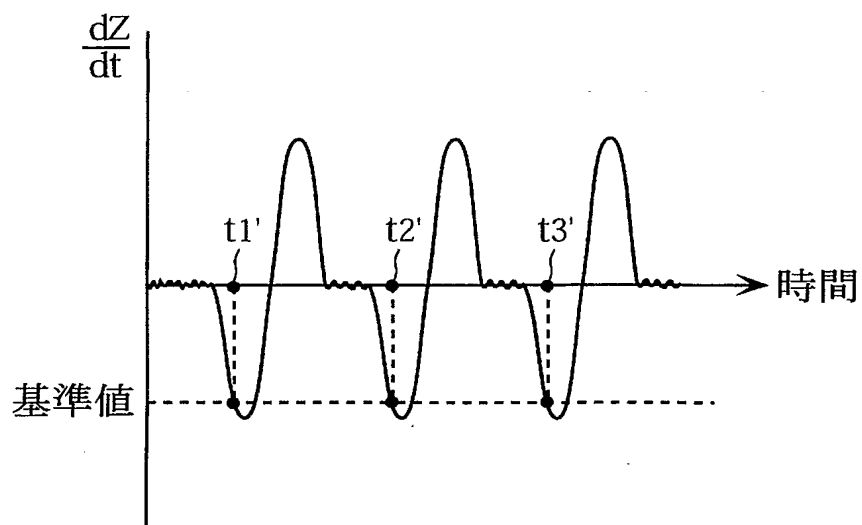
【図 11】



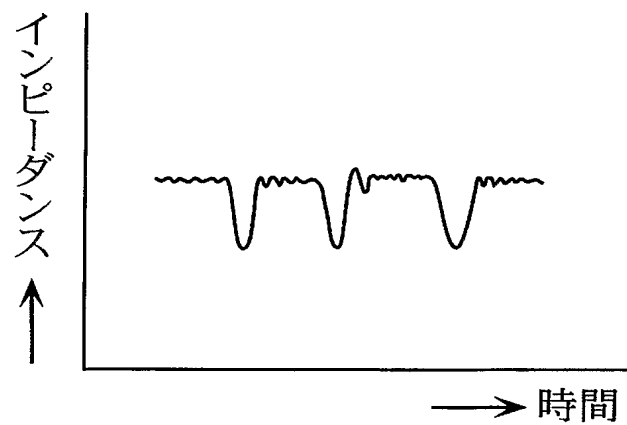
【図 12】



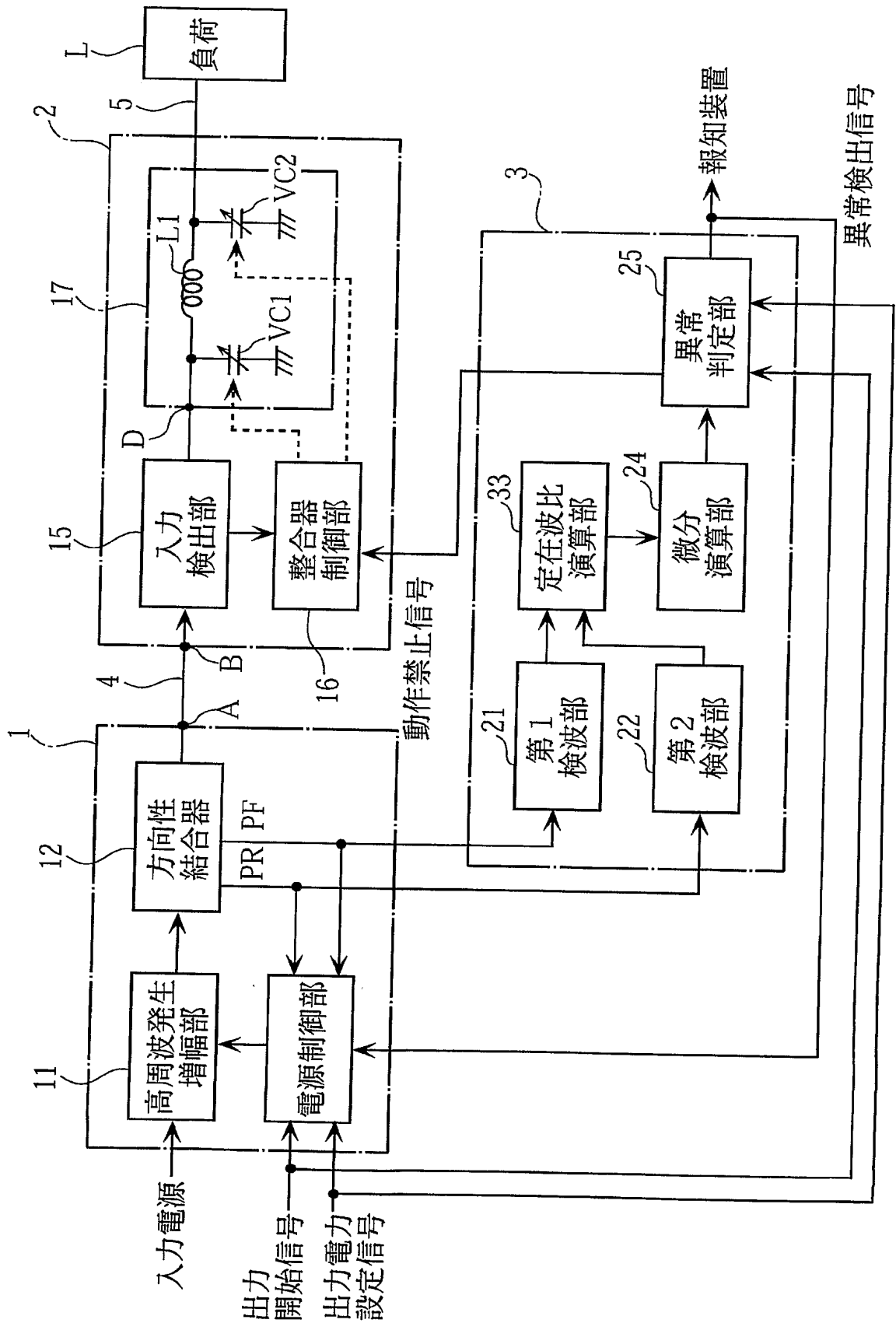
【図 13】



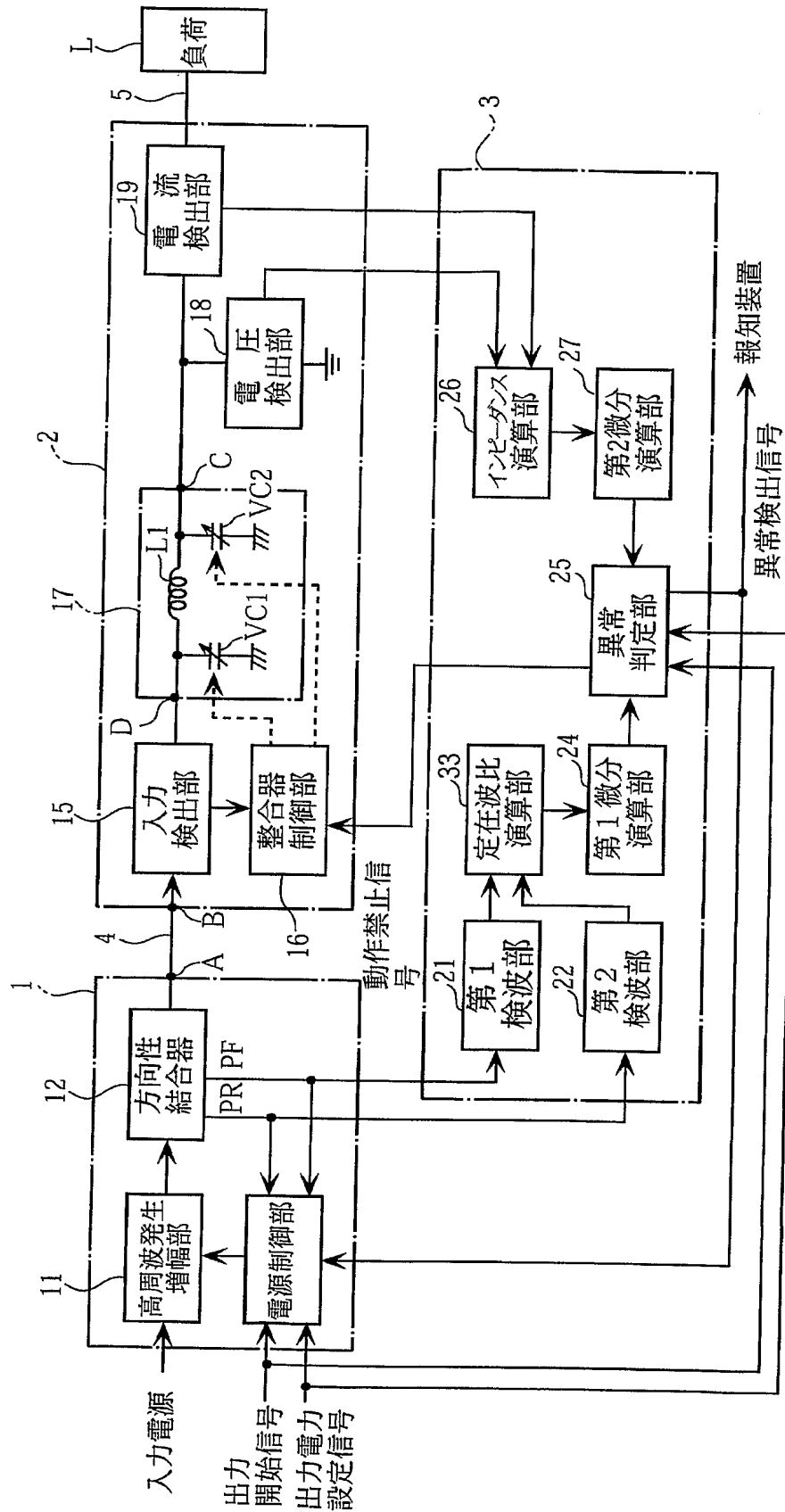
【図 14】



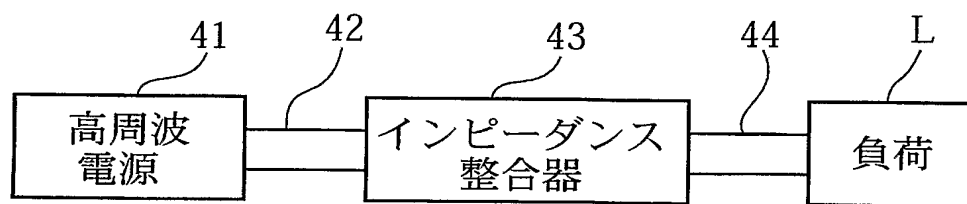
【図 15】



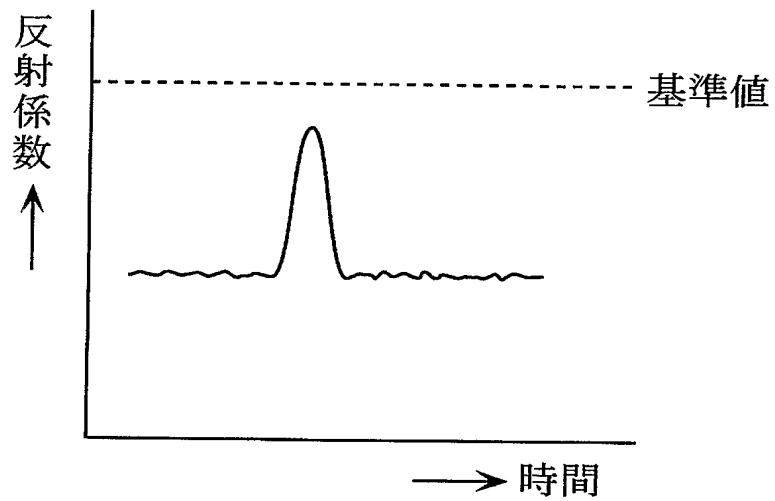
【図 16】



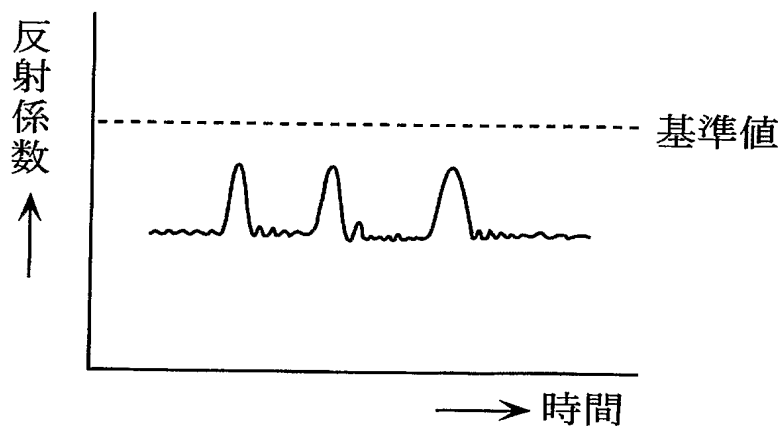
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高周波電源の出力端から負荷側の回路で発生する異常を迅速に検出し、所定の安全措置を講じることのできる高周波電力供給システムを提供する。

【解決手段】 高周波電力供給システムは、高周波電源 1 の出力端 A から負荷 L 側の回路で発生する異常を検出する異常検出装置 3 を備える。異常検出装置 3 は高周波電力の進行波の電圧値 V_f を検出する第 1 検波部 21 と、高周波電力の反射波の電圧値 V_r を検出する第 2 検波部 22 と、進行波電圧値 V_f と反射波電圧値 V_r とから反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ を演算する反射係数演算部 23 及び微分演算部 24 と、反射係数の微分値 $d\Gamma/dt$ に基づいて異常発生の有無を判定する異常判定部 25 とで構成される。異常検出装置 3 から高周波電源 1 に異常検出信号が出力されると、高周波電源 1 の電力出力動作は停止させる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 0 8 6 9 6 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 0 2 6 2]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 1 1 号

氏 名

株式会社ダイヘン